

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra dopravního stavitelství

Účinnost protismykových úprav na cementobetonových a asfaltových vozovkách

Effectiveness of Skid Resistance of Concrete and Asphalt Pavement Surface

Student:

Lukáš Moj

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Denisa Cihlářová, Ph.D.

Ostrava 2021

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Moj**

Studijní program: B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3647R020 Dopravní stavby

Téma: Účinnost protismykových úprav na cementobetonových a asfaltových vozovkách
Effectiveness of Skid Resistance of Concrete and Asphalt Pavement Surface

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Úkolem studenta bude vypracovat rešerši na téma protismykové vlastnosti tuhých i netuhých vozovek. Dále bude proveden laboratorní experiment pro zjištění makrostruktury a mikrostruktury protismykové úpravy z recyklovaného kameniva.

Seznam doporučené odborné literatury:

KUDRNA, J. Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů pozemních komunikací. 1. vydání. VUT FAST, 2007. ISBN 978-80-214-3429-5.

ČSN EN 13036-1, Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch - Zkušební metody - Část 1: Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou, 2010.

ČSN EN 13036-4, Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch - Zkušební metody - Část 4: Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadlem, 2012.

ČSN 73 6177, Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek, 2009.

TP 213, Bezpečnostní protismykové úpravy povrchů vozovek. MINISTERSTVO DOPRAVY ČR, 2009.

TP 87, Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek. MINISTERSTVO DOPRAVY ČR, 2010.

TP 92, Navrhování údržby a oprav vozovek s cementobetonovým krytem. MINISTERSTVO DOPRAVY ČR, 2010.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Denisa Cihlářová, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2020

Datum odevzdání: 30.04.2021

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 30.4.2021

.....

Lukáš Moj

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 30.4.2021

.....

Lukáš Moj

Anotace

Cílem bakalářské práce bylo vypracovat rešerši na téma protismykových úprav tuhých i netuhých vozovek. Bakalářská práce obsahuje současný stav, kde se vyskytují vlivy povrchů silnic na nehodovost. Dále jsou popsány protismykové vlastnosti tuhých i netuhých vozovek, kde dochází k ztrátě jejich textury. Potom se práce zabývá měřením a zlepšením protismykových vlastností, kde následující téma bezpečnostních protismykových úprav je probráno podrobněji. Předposlední částí je aplikace bezpečnostních protismykových úprav na území města Ostravy. Následuje poslední část, kde je provedeno laboratorní měření pro zjištění makrotextury a mikrotextury protismykové úpravy z recyklovaného kameniva. Závěr práce obsahuje výsledné zhodnocení protismykových úprav.

Annotation

The aim of the Bachelor thesis was to produce a reshuffle on the topic of anti-skid adjustments of stiff and rigid roadways. The Bachelor thesis contains the current state of affairs, where the effects of road surfaces on accidents occur. The anti-skid properties of both rigid and rigid roadways are also described, where their texture is lost. Then the work deals with measuring and improving anti-skid properties, where the following topic of security anti-skid adjustments is discussed in more detail. The penultimate part is the application of security anti-skid adjustments in the city of Ostrava. The following is the last section where laboratory measurements are made to detect macrotexture and microtexture anti-skid treatment from recycled aggregates. The conclusion of the work contains the resulting assessment of skid adjustments.

Klíčové slova

Protismykové vlastnosti, Bezpečnostní protismyková úprava, tuhé vozovky, netuhé vozovky, makrotextura, mikrotextura, recyklované kamenivo, nehodovost.

Key words

Skid-free properties, Safety anti-skid treatment, rigid roadways, non – rigid roadways, macrotexture, microtexture, recycled aggregates, accident rate.

Poděkování

Především chci poděkovat mé vedoucí práce Ing. Denise Cihlářové, Ph.D. za její rady a odborné vedení, které mi poskytovala po celou dobu psaní této bakalářské práce. V neposlední řadě, chci poděkovat mé rodině a přítelkyni, kteří pro mě byli hlavně psychickou podporou.

Obsah

1.	ÚVOD.....	1
2.	SOUČASNÝ STAV	2
2.1.	Nehodovost v ČR	2
2.2.	Vlivy povrchů silnic na nehodovost.....	3
3.	PROTISMYKOVÉ VLASTNOSTI	4
3.1.	Názvosloví.....	4
3.2.	Protismykové vlastnosti netuhých vozovek	5
3.2.1.	Příčina vzniku ztráty makrotextury	5
3.2.2.	Příčina vzniku ztráty mikrotextury:.....	6
3.2.3.	Zlepšení protismykových vlastností na netuhých vozovkách	7
3.3.	Protismykové vlastnosti tuhých vozovek	7
3.3.1.	CBK s povrchovou úpravou příčnou striáží	8
3.3.2.	CBK s povrchovou úpravou taženou jutou.....	9
3.3.3.	CBK s povrchovou úpravou obnažením kameniva	9
3.3.4.	Zlepšení protismykových vlastností na tuhých vozovkách	10
3.4.	Měření protismykových vlastností	11
3.4.1.	Parametry protismykových vlastností	11
3.4.2.	Zařízení na měření protismykových vlastností.....	13
3.4.3.	Hodnocení protismykových vlastností	14
4.	BEZPEČNOSTNÍ PROTISMYKOVÉ ÚPRAVY	15
4.1.	Funkce	15
4.2.	Umístění	15

4.3.	Stavební materiály	16
4.4.	Pokládka BPÚ	18
4.4.1.	Pokládka za studena.....	18
4.4.2.	Pokládka za horka.....	18
4.5.	Zkoušky vlastností BPÚ	19
5.	APLIKACE PROTISMYKOVÝCH ÚPRAV NA ÚZEMÍ MĚSTA OSTRAVY	20
5.1.	Most ev. č. 11-144, silnice I/11 ul. Rudná	21
5.2.	Mimoúrovňová křižovatka silnice I/56 ul. Místecká s ul. Rudná	23
5.3.	Směrový oblouk, silnice I/58 v úseku Nová Bělá – Krmelín.....	25
5.4.	Mimoúrovňová křižovatka silnice I/11 ul. Rudná s ul. Nad Porubkou.....	27
5.5.	Před přechodem pro chodce, místní komunikace Čujkovova	29
6.	LABORATORNÍ MĚŘENÍ	32
6.1.	Postup pokládky BPÚ na zkušební dlaždice	32
6.2.	Technologie	33
6.2.1.	TYREG RIP	33
6.2.2.	FROSTGRIP	34
6.3.	Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou.....	34
6.3.1.	Výsledky měření odměrnou metodou.....	35
6.4.	Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadlem .	39
6.4.1.	Výsledky měření zkoušky kyvadlem.....	40
7.	ZÁVĚR.....	43

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

BPÚ	Bezpečnostní protismykové úpravy
CB	cementobetonový
CBK	cementobetonový kyt
GPS	globální družicový polohový systém
MPD	Mean Profile Depth – průměrná hloubka profilu
MTD	Mean Texture Depth – střední hloubka makrotextury
PTV	Pendulum Test Value
RPDI	roční průměr denních intenzit
TP	technické podmínky
TRRL	Transport and Roads Research Laborator

1. ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá účinností protismykových úprav tuhých i netuhých vozovek. Protismykové vlastnosti jsou v dnešní době důležitým vlivem na bezpečnost silničního provozu. Snažíme se, aby byl silniční provoz bezpečný a plynulý. Zlepšení protismykových vlastností vozovky udržují všechny účastníky provozu ve větším komfortu.

Teoretická část je vypracována formou rešerše. V této části je uvedeno, proč je potřeba protismykových úprav, vlivy na bezpečnost silničního provozu, co je ovlivňuje a jak jsou měřeny. V další části se zabývám bezpečnostními protismykovými úpravami, které se aplikují těsně před vznikem nebezpečí.

Praktická část je rozdělena na dvě části. V první části je předmětem výzkumu realizace bezpečnostních protismykových úprav na vybraných úsecích v Ostravě, kde je zkoumáno, jak slouží v dnešním provozu. V druhé části je vykonáno laboratorní měření pro měření makrotextury a mikrotextury. Laboratorní měření je provedeno na vzorcích tuhých a netuhých vozovek s bezpečnostní protismykovou úpravou. Zjišťuje se, jaký vliv má na protismykové vlastnosti recyklované kamenivo oproti nově použitému kamenivu.

Závěrem práce je statistická analýza nehodovosti a stavu bezpečnostních protismykových úprav na území města Ostravy. Cílem laboratorního měření je zjistit, zda recyklované kamenivo vyhovuje požadavkům na bezpečnostní protismykové úpravy a lze ho nahradit za kamenivo nové.

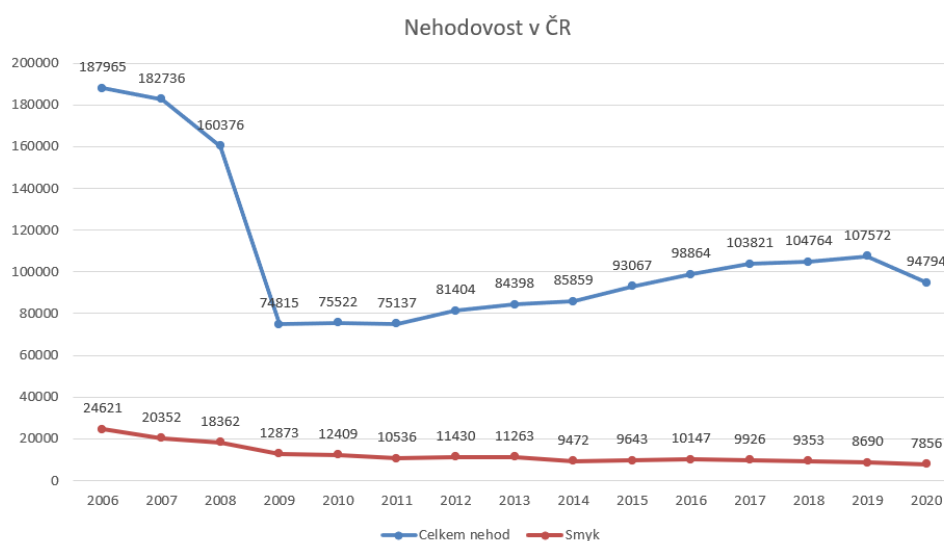
2. SOUČASNÝ STAV

Protismykové úpravy vozovky jsou nedílnou součástí dnešního silničního provozu. Bezpečnostní protismykové úpravy vozovek mají pozitivní vliv na zmenšení nehodovosti. Díky kvalitním materiálům lze dosáhnout vysokých hodnot součinitele tření a tím snížení brzdné dráhy vozidla až o 30 %. BPÚ (bezpečnostní protismykové úpravy) dokážou odolávat velkému dopravnímu zatížení. Mezi další výhodu protismykových úprav patří odolnost vůči ropě, palivům a posypovým solím. Zvyšuje také stabilitu vozidla v nebezpečných úsecích. Zásluhou jiné barvy povrchové úpravy zklidňuje dopravu a upozorňuje řidiče na nebezpečný úsek.

2.1. Nehodovost v ČR

Dopravní nehoda je událost v provozu na pozemních komunikacích, kdy dojde ke srážce vozidla s jiným tělesem a při níž dojde k usmrcení nebo zranění osoby nebo ke škodě na majetku. [1]

Povrchové vlastnosti vozovky jsou důležitým parametrem pro hodnocení bezpečnosti a plynulosti provozu na pozemních komunikacích. Lidský faktor se na vzniku dopravních nehod podílí z 93 %, stav pozemních komunikací 34 % a vliv technického stavu vozidla 13 %. Vliv povrchových vlastností na bezpečnost a plynulost silničního provozu je rozhodně nepopiratelný. Jednotlivé veličiny mají na bezpečnost menší, či větší vliv v závislosti na rychlosti jedoucího vozidla. Nízký součinitel tření a špatná makrotextura zvyšuje brzdnou dráhu vozidla. [2]

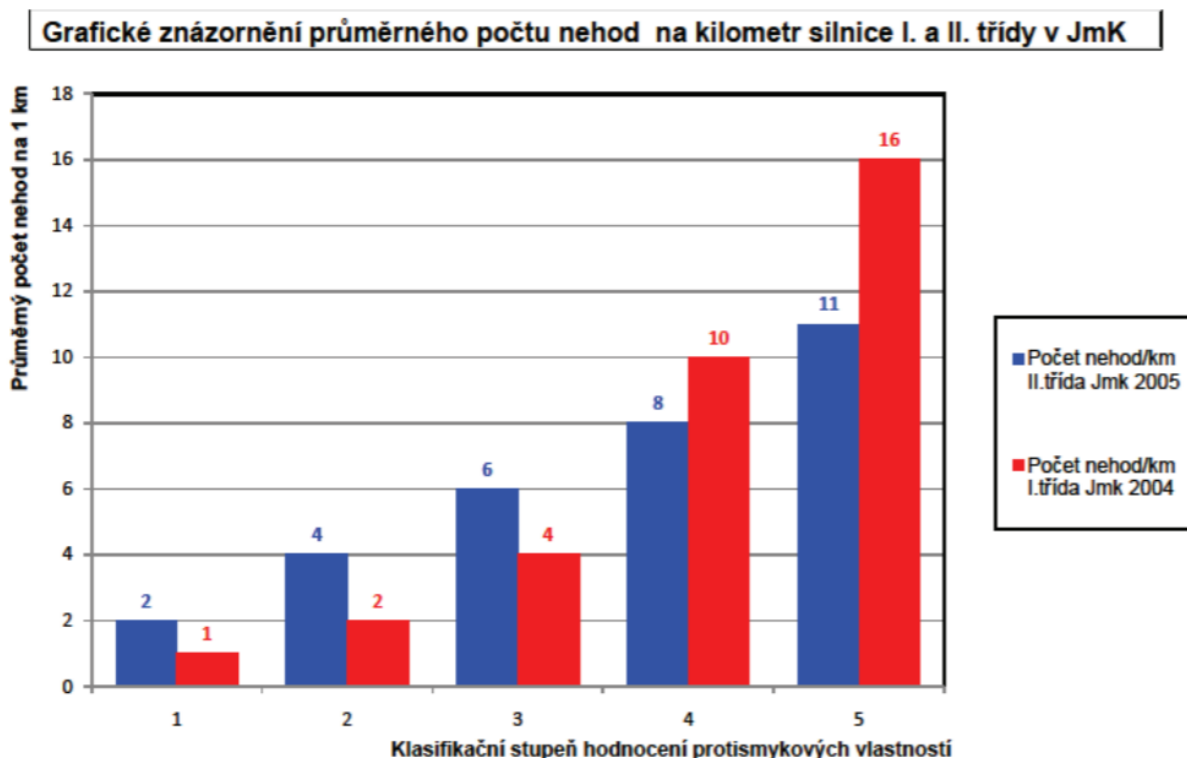


Graf 1 - Nehodovost v Česku

Z grafu 1, který byl získán ze statistik webu nehody.cdv.cz.[8] lze vyčíst, že hodnoty nehodovosti v Česku klesly v roce 2020 o více než deset tisíc. Nehody, kde se vyskytuje i smyk vozidla klesly od roku 2006 o víc než šestnáct tisíc, na snížení se můžou podílet faktory protismykových úprav.

2.2. Vlivy povrchů silnic na nehodovost

Protismykové vlastnosti mají největší vliv na nehodovost, c se týče stavu komunikace, proto by jim měla být věnována největší pozornost, co se stavu komunikací týče. V Česku se poradenskou činností pro správce pozemních komunikací zabývá firma PavEX® Consulting s.r.o. Jejich systém Rosy® je používán v jednotlivých krajích pro sledování a hodnocení stavu vozovek, plánování údržby a oprav vozovek. S využitím dat byl systém použit poprvé v Jihomoravském kraji pro silnice I. třídy. Také byl založen „Program identifikace, údržby a oprav nehodových úseků“. Na následujícím grafu můžeme vidět počet nehod za roky 2004-2005 a klasifikační stupeň hodnocení protismykových vlastností vozovky. Na silnicích, kde je klasifikační stupeň hodnocení protismykových vlastností 5 je počet nehod větší až o 100 %, než na klasifikačním stupni 1.[7]



Graf 2- vliv protismykových vlastností na nehodovost [11]

Ze získaných dat systému Rosy® byla vytvořena Cost – Benefit analýza (vyhodnocení nákladů a přínosů), při které se zjistilo, že 1 Kč vložená do údržby stavu komunikace se rovná uspoření 10-20 Kč následků nehod. U prvního sledovaného úseku ve Vyškově, byly roční škody při nehodách z 4 milionů Kč sníženy na 150 000 Kč. [7]

3. PROTISMYKOVÉ VLASTNOSTI

3.1. Názvosloví

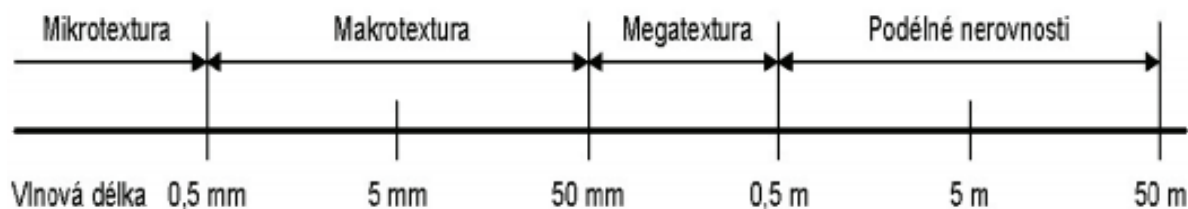
Protismykové vlastnosti jsou schopnost povrchu vozovky zatíženého dopravou zajišťovat pomocí tření spolupůsobení mezi povrchem vozovky a pohybující se pneumatikou. Protismykové vlastnosti se posuzují na základě součinitele tření, na součinitel tření má velký vliv textura povrchu vozovky. [4]

Tření je odolnost, která zabraňuje pohybu mezi dvěma tělesy. Jedná se o pohyb mezi povrchem vozovky a pneumatikou měřicího kola, které je přitěžováno předepsanou svislou silou a brzděno na předepsaný poměr skluzu nebo odkloněno od podélné osy. Tření je specifikováno jako součinitel podélného/bočního tření. [4]

Textura povrchu vozovky je vyobrazení prostorového umístění zrn kameniva na povrchu vozovky, je dána mikrotexturou a makrotexturou. Popisuje se pomocí vlnové délky (obr. 1). [4]

Mikrotextura je rozdíl povrchu vozovky od dokonalého rovného povrchu s rozměry menšími než 0,5 mm, je dána velikostí výstupků a tvarem zrn kameniva. [4]

Makrotextura je rozdíl povrchu vozovky od dokonalého rovného povrchu s rozměry od 0,5 mm do 5 mm, je dána velikostí frakce hrubého a jemného kameniva, u CB je tvořena povrchovou úpravou. [4]

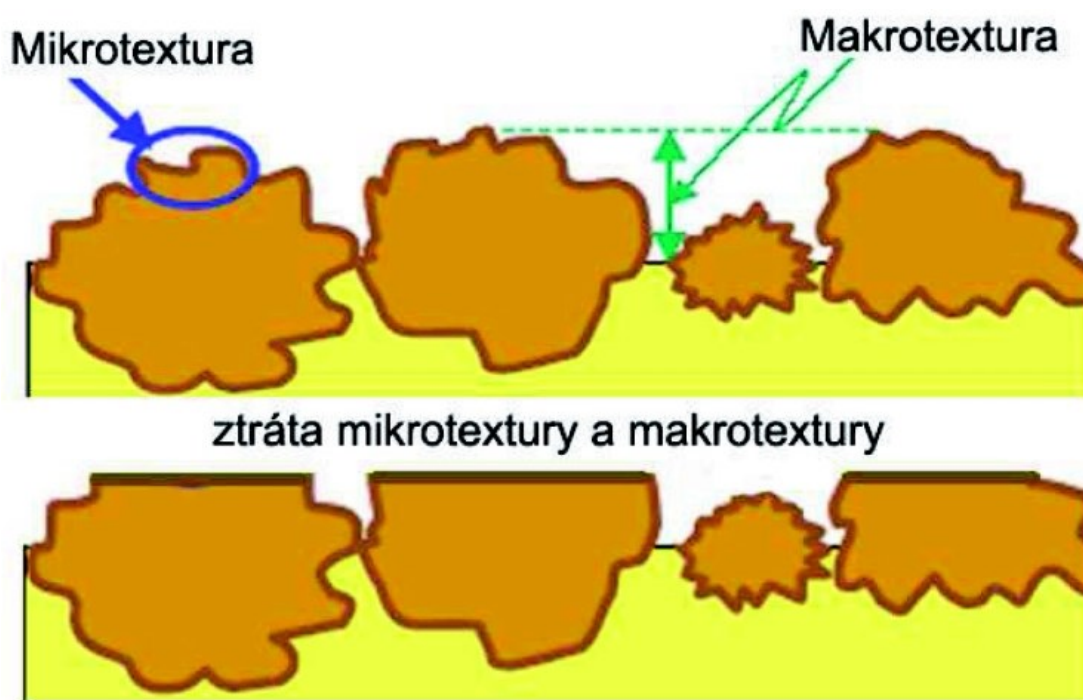


Obrázek 1 - Názvosloví textury povrchu z hlediska vlnové délky [11]

3.2. Protismykové vlastnosti netuhých vozovek

Protismykové vlastnosti asfaltových vozovek závisí na:

- Tvaru zrn makrotextury, která ovlivňují vznik vodního filmu na povrchu vozovky a součinitel tření.
- Mikrotextuře výstupků zrn kameniva, která přispívá tření mezi pneumatikou a povrchem vozovky.
- Odolnost proti ohlazení – ztráta mikrotextury a makrotextury povrchu vozovky.



Obrázek 2 – Základní charakteristiky ovlivňující protismykové vlastnosti [5]

Ztráta makrotextury vzniká uzavřením povrchu do hladké plochy bez vystupujících zrn kameniva. Ke ztrátě mikrotextury dochází vyhlazením zrn kameniva v povrchu vozovky vlivem tření s pneumatikami vozidla.

3.2.1. Příčina vzniku ztráty makrotextury

U nátěrů je příčina vzniku makrotextury použitím nadměrného množství pojiva pro postřík. Často se porucha vyskytuje při vysprávkách povrchu tryskovou metodou a u starých

penetračních vozovek, kde dochází k předávkování asfaltu při prolití šterku a při provádění následných nátěrů. [12]

U asfaltových směsí je příčinou nevhodná skladba směsi, použití asfaltu s vyšší penetrací nebo jeho nadměrné množství. Povrch vozovky se stává uzavřený a hladký. [12]



Obrázek 3 - Ztráta makrotextury [12]

3.2.2. Příčina vzniku ztráty mikrotextury:

Použití snadno ohladitelného kameniva – nesplňuje požadavky souboru norem ČSN EN 13108-5 až 7 pro použití v ohrusných vrstvách. [12]



Obrázek 4 – Ztráta mikrotextury [12]

3.2.3. Zlepšení protismykových vlastností na netuhých vozovkách

Na silnicích, kde se vyskytuje klasifikační stupeň 4 a 5 je nutnost zlepšení protismykových vlastností pomocí těchto oprav:

Posypáním drceným kamenivem – vylepšuje makrotexturu, asfaltový nátěr se posype kamenivem frakce 2-4, 4-8 mm,

Nahrazení asfaltové směsi – zlepšení makrotextury, směs musí být odolná proti trvalým deformacím,

Zdrsnění povrchu – krátkodobé, vylepšení mikrotextury, pomocí frézování povrchu vozovky,

Mikrokoberec – zlepšuje mikrotexturu, tenká živichná vrstva k ochraně proti pronikání vody, omezení vzniku trhlin a šíření poruch,

Emulzní kalový zákryt – směs drobného kameniva frakce 0-4 mm, asfaltové emulze, záměsové vody a přidání stabilizátoru. Vytváří novou ochrannou a obrušnou vrstvu,

Bezpečnostní protismyková úprava – dvousložkové pojivo s kamenivem nebo zdrsnujícím materiálem, velmi dobrá makrostruktura a mikrostruktura, vhodná na menší úseky (ruční pokládka), upozorňuje řidiče na nebezpečí (červená barva),

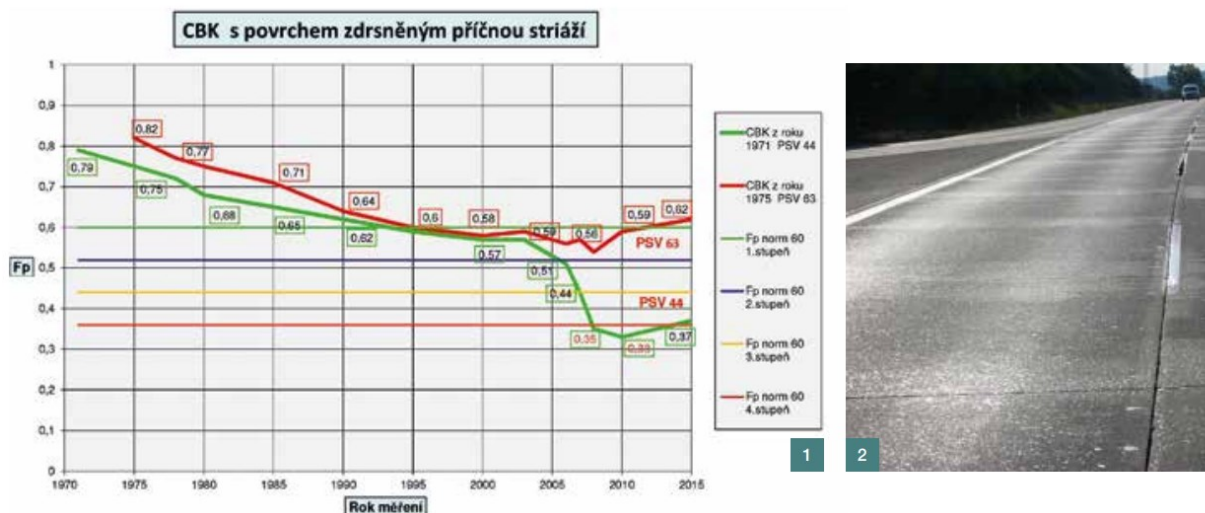
Výměna obrušné vrstvy – zcela nové vytvoření mikrotextury a makrotextury povrchu vozovky.

3.3. Protismykové vlastnosti tuhých vozovek

Nejčastější technologií na dálnicích v Česku jsou právě cementobetonové kryty, ovšem technologie pokládky se během několika let změnila a tím se změnila i povrchová úprava. Na nově pokládaných CBK (cementobetonový kryt) byly používané úpravy jako je tažená juta, příčná striáž nebo CBK s obnaženým kamenivem. Diagramy zpracoval Ing. Leoš Nekula, který se zabývá měřením a hodnocením protismykových vlastností vozovek od roku 1975. [10]

3.3.1. CBK s povrchovou úpravou příčnou striáží

Výhoda této technologie spočívala ve vytvoření velmi dobré makrotextury a mikrotextu povrchu vozovky. Vykazuje velmi dobré drenážní vlastnosti, kvůli rýhám vytvořených na povrchu vozovky. Bohužel tato technologie v dnešní době není používána kvůli vysoké hlučnosti a změnou výroby technologie cementu, kde mají betony menší odolnost proti ohlazení. [10]

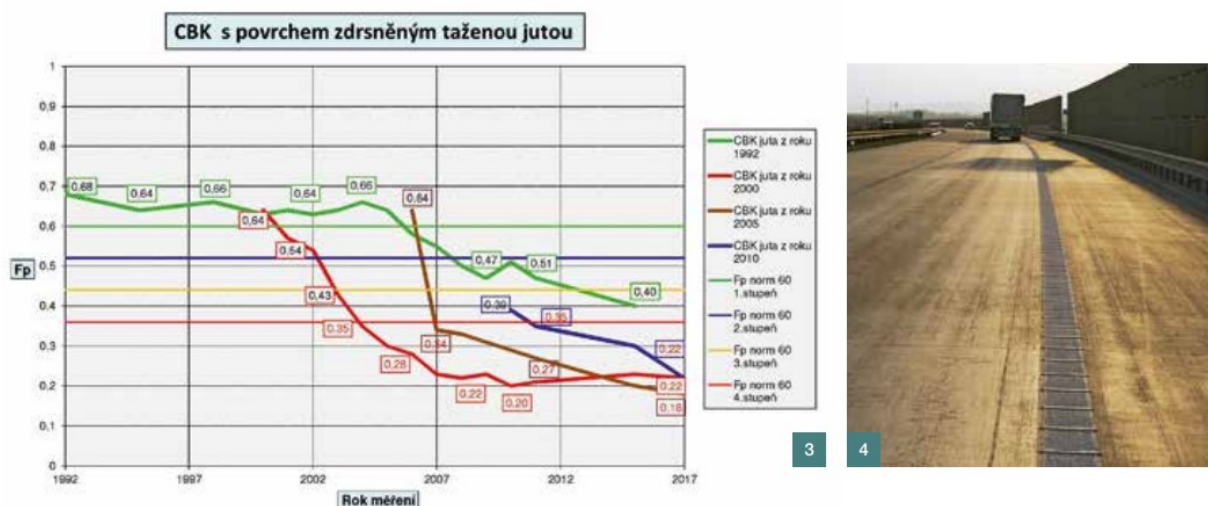


Obrázek 5 - 1. Diagram CBK s příčnou striáží, 2. CBK s příčnou striáží a kamenivem PSV 44 [10]

V diagramu, který nám vyznačuje závislost součinitele podélného tření F_p na čase, byly vyhodnoceny dvě technologie CBK, první je z roku 1971 s ohladitelností kameniva PSV 44, druhá je z roku 1975 s ohladitelností kameniva PSV 63. V prvních čtyřiceti letech můžeme vidět, že obě úpravy vykazují vyhovující protismykové vlastnosti (klasifikační stupeň 2). U CBK z roku 1971 po roce 2005 prudce klesá na havarijní stav (klasifikační stupeň 5), což je způsobeno ojetím cementopískové vrstvy a obnažením hrubého kameniva. U CBK z roku 1975 si můžeme všimnout, že hodnota tření dokonce narůstá, to je způsobeno použitím kameniva s vysokou hodnotou ohladitelnosti. Dnes se tyto úpravy nahrazují CBK s obnaženým kamenivem.

3.3.2. CBK s povrchovou úpravou taženou jutou

Tato technologie byla vytvořena jako náhrada za CBK příčnou striáží, aby byla snížena hlučnost povrchu. Nevýhodou bylo snížení hloubky makrotextury, to mělo za následek horší drenážní vlastnosti. Vlivem doby se součinitel tření snížil, kvůli nové technologii na výrobu cementu, kde betony mají nízkou odolnost proti ohlazení.[10]

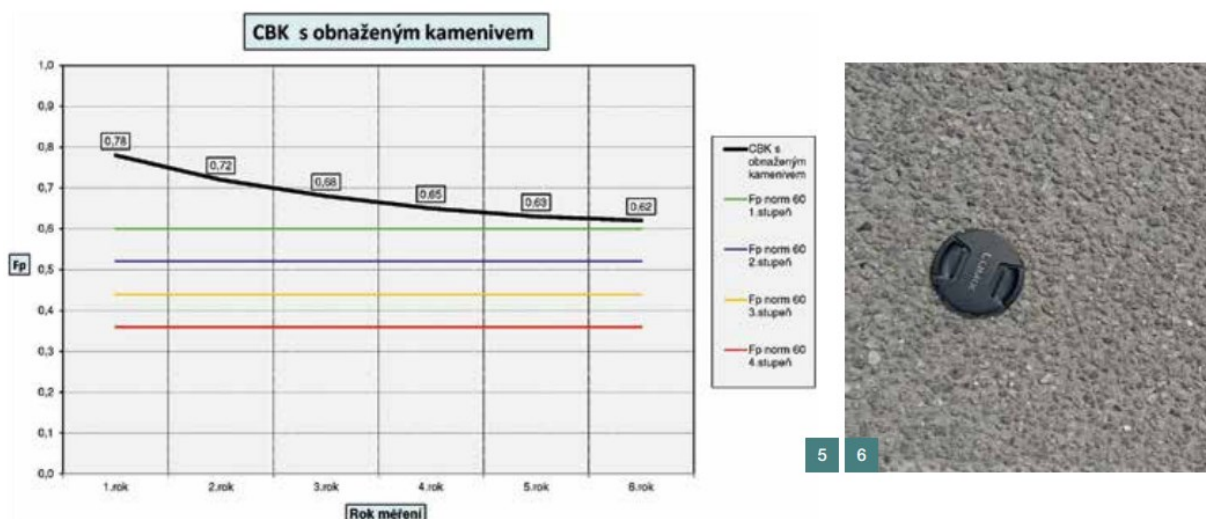


Obrázek 6 - 3. Diagram CBK s taženou jutou, 4. CBK s taženou jutou – klasifikační stupeň 5 [10]

V diagramu, který nám vyznačuje závislost součinitele podélného tření F_p na čase, jsou vyhodnoceny čtyři různé CBK s taženou jutou. CBK z roku 1992 klesá součinitel tření až po patnácti letech pod klasifikační stupeň 1. CBK z roku 2000 klesá součinitel tření během čtyř let na havarijní stav (klasifikační stupeň 5). CBK z roku 2005 se dostává do havarijního stavu během jednoho roku a poslední CBK z roku 2010 je nevyhovující už v prvním roce pokládky (klasifikační stupeň 4). Příčina poklesu součinitele tření u nových CBK je změna technologie výroby cementu. Dnes se v Česku vyskytuje mnoho těchto úseků, které jsou velmi nebezpečné. Hrozí výskyt smyku nebo aquaplaningu, čímž se zvětšuje brzdná dráha vozidla.

3.3.3. CBK s povrchovou úpravou obnažením kameniva

Technologie byla poprvé použita na dálnici D1 ve staničení 214,403 – 214,624 v roce 2012. Měření prokázalo vysoké hodnoty součinitele tření. Nyní se technologie bude používat při modernizaci dálnice D1, při výstavbě nových úseků dálnic a rekonstrukcích ostatních úseků s jinou technologií CBK.[10]



Obrázek 7 - 5. Diagram CBK s obnaženým kamenivem, 6. CBK s obnaženým kamenivem [10]

V diagramu je vidět že po dobu šesti let součinitel tření splňuje požadavek na klasifikační stupeň 1. Životnost je dána kvalitou ohladitelnosti obnaženého hrubého kameniva. Technologie je srovnatelná s asfaltovými povrchy.

3.3.4. Zlepšení protismykových vlastností na tuhých vozovkách

Na úsecích dálnic a silnic, kde jsou dnes nevyhovující protismykové vlastnosti (klasifikační stupeň 4 a 5) musí být provedeno opatření na zvýšení protismykových vlastností. Obnovení protismykových vlastností lze získat mnoha způsoby:

Tryskání paprskem tlakové vody – pokles součinitele tření závisí na intenzitě dopravy, obnovuje pouze mikrotexturu, která se snadno znovu ohladí. Při měření došlo k poklesu z klasifikačního stupně 1 na klasifikační stupeň 5 za 24 měsíců.[10]

Tryskání ocelovými kuličkami – obnovuje mikrotexturu, částečně i makrotexturu povrchu, životnost je závislá na intenzitě dopravy a ohlazení kameniva, na rozdíl od předešlého způsobu klesá součinitel tření rovnoměrně, každopádně dojde k poklesu na klasifikační stupeň 5 také za 24 měsíců.[10]

Broušení diamantovými kotouči – destruktivní metoda, dochází k obnovení hrubého kameniva, velmi dobrá obnova makrotextury, velká životnost – za 48 měsíců hodnocení protismykové vlastnosti povrchu klesla na klasifikační stupeň 3.[10]

Jemné frézování – nejúčinnější destruktivní metoda, obnova makrotextury i mikrotextury, dosahuje lepších výsledků, než broušení diamantovými kotouči – za 48 měsíců klesne hodnota součinitele tření těsně pod klasifikační stupeň 2.[10]

3.4. Měření protismykových vlastností

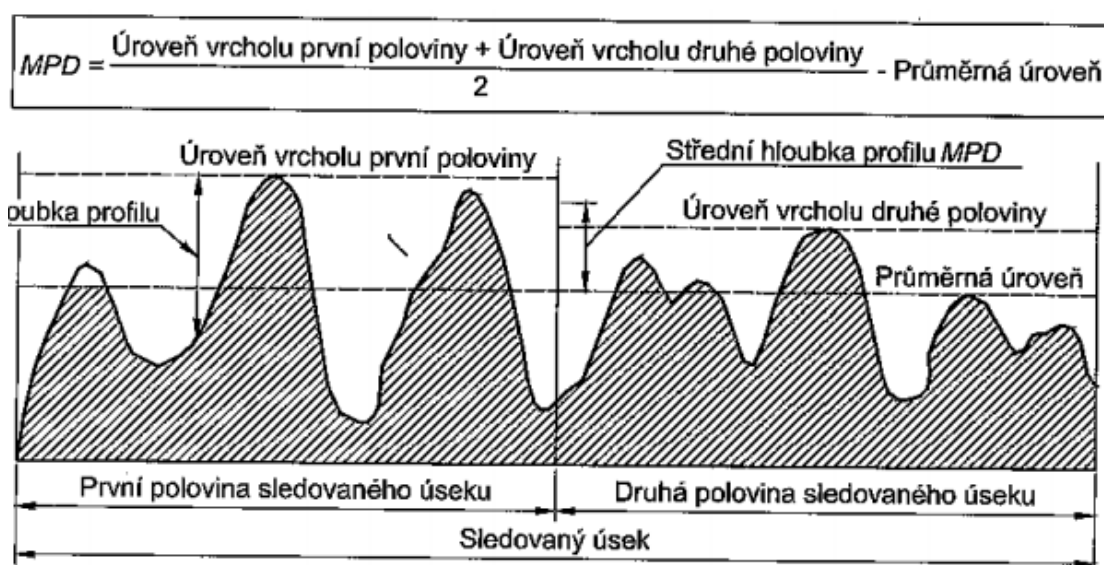
Tato kapitola se zabývá měřením protismykových vlastností, kde jsou zkoumané ovlivňující parametry, měřicí zařízení a hodnocení protismykových vlastností povrchu v Česku.

3.4.1. Parametry protismykových vlastností

Největší vliv na protismykové vlastnosti má textura povrchu vozovky, a proto jsou zkoumané tyto parametry [4] [11]:

Střední hloubka textury (MTD) - definována jako hloubka makrotextury zjištěná pomocí odměrné metody. Na měřený povrch se vysypou skleněné kuličky o určitém objemu, které se rozprostřou do kruhového tvaru. Poté se změří průměr a dle vzorce (1) se spočítá střední hloubka makrotextury. [4] [11]

Střední hloubka profilu (MPD) - vypočítaná z podrobného podélného profilu makrotextury snímaného pomocí laserových systémů na filtrované délce od 0,5- 50 mm. Princip výpočtu je objasněn v obrázku 8, kde můžeme vidět sledovaný úsek, průměrnou úroveň hloubky makrotextury a úroveň vrcholu první a druhé poloviny sledovaného úseku. [4][11]



Obrázek 8 - Princip výpočtu střední hloubky profilu MPD [4]

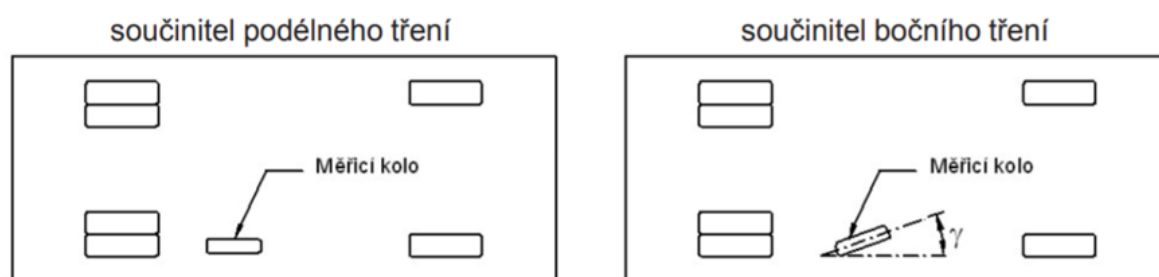
Vodorovné drenážní vlastnosti povrchu vozovky (O_{tp}) - schopnost textury povrchu vozovky odvádět vodu z povrchu mezi vozovkou a pneumatikou. Zkouška se provádí pomocí stacionárního výtokoměru a používá se na všech hladkých neporézních površích (o střední hloubce profilu povrchu vozovky menším než 0,4 mm). Výpočtem se rovná čas vytékání vody pro délku úseku 25 m..[4]

Součinitel tření zjištěný kyvadlem (PTV) – definován jako ztráta kinetické energie při tření standartní pryžové třecí patky kyvadla po zkoušeném povrchu vozovky. Hodnota součinitele tření zjištěná kyvadlem vyjadřuje kvalitu mikrotextury měřeného povrchu a protismykové vlastnosti. Vypočte se dle vzorce (2).[4]

Součinitel podélného tření povrchu vozovky f_p zjištěný dynamickým měřicím zařízením – podíl mezi podélnou silou a svislou silou v místě dotyku pneumatiky měřicího kola s vozovkou – obrázek 9. Rychlost skluzu je zajištěna mechanickým brzděním.[4]

Součinitel bočního tření povrchu vozovky f_b zjištěný dynamickým měřicím zařízením – oproti součinitele podélného tření povrchu vozovky je pozice měřeného kola odkloněna od podélné osy. Rychlost skluzu je zajištěna odklonem měřicího kola.[4]

$$\text{součinitel tření} = \left(\frac{\text{podélná (boční) síla v místě dotyku pneumatiky měřicího kola s vozovkou [N]}}{\text{svislá síla působící v místě dotyku pneumatiky měřicího kola s vozovkou [N]}} \right)$$



Obrázek 9 - Výpočet podélného/bočního součinitele tření povrchu vozovky [4]

Index protismykových vlastností (SRI – Skid Resistance Index) - stanovení protismykových vlastností povrchu vozovky. Nezávisí na měřicím zařízení, rychlosti a metodě měření.[4]

Součinitel tření po ohlazení (μ_{FAP} – Friction After Polishing) - Zrychlené zjištění součinitele tření na povrchu zkušební vzorku měřicí rychlostí 60 km/h po ohlazení při

určitému počtu nájezdů. Zkouška pod názvem Wehner/Schulze. Lze využít na zjištění ohladitelnosti kameniva.[4][11]

3.4.2. Zařízení na měření protismykových vlastností

Zařízení na měření makrotextury – makrotexturu můžeme získat výpočtem parametru střední hloubky textury MTD nebo střední hloubky profilu MPD. V kapitole 6.3. je popsán postup odměrné metody na výpočet MTD. Střední hloubka profilu se měří pomocí laserového zařízení ARAN nebo HawkEye 1000. [11]



Obrázek 10 - Měřicí zařízení ARAN [11]

Zařízení na měření mikrotextury – mikrotextura povrchu se zkouší pomocí kyvadla TRRL, kde závisí na ztrátě kinetické energie při tření kyvadla z měřicím povrchem. Postup zkoušky je popsán v kapitole 6.4.

Zařízení na měření součinitele tření – v Česku je používáno zařízení TRT (Tatra Runway Tester) a GripTester. Zařízení TRT měří také podélné nerovnosti vyjádřené mezinárodním indexem nerovnosti IRI, pořizuje videozáznam a digitální snímky z měření, lokalizuje data souřadnicemi GPS. [11]



Obrázek 11 - Měřicí zařízení TRT [11]

3.4.3. Hodnocení protismykových vlastností

Protismykové vlastnosti se hodnotí do pěti klasifikačních stupňů, podle kterých se rozhoduje, zda splňují nebo nesplňují požadavky na bezpečnost provozu. Hodnocení protismykových vlastností na tuhých a netuhých vozovkách vychází z tabulek 1,2 [13] [14].

Klasifikační stupeň Zkušební metody	1	2	3	4	5
Součinitel podélného tření F_p , zařízení TRT pro měřicí rychlost $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	$\geq 0,60$	$0,59 - 0,52$	$0,51 - 0,44$	$0,43 - 0,36$	$\leq 0,35$
Součinitel tření zjištěný kyvadlem, PTV	$\geq 0,70$	$0,69 - 0,60$	$0,59 - 0,50$	$0,49 - 0,40$	$\leq 0,39$
Střední hloubka textury zjištěná odměrnou metodou, MTD	$\geq 0,75$	$0,74 - 0,60$	$0,59 - 0,50$	$0,49 - 0,38$	$\leq 0,37$
Střední hloubka profilu MPD,	$\geq 0,69$	$0,68 - 0,50$	$0,49 - 0,37$	$0,36 - 0,22$	$\leq 0,21$

Tabulka 1 -hodnocení protismykových vlastností a textury povrchu vozovky [13][14]

Klasifikační stupeň	1	2	3	4	5
F_p, PTV					
Požadavek na zvýšené protismykové vlastnosti					
D, R,RMK, Silnice, MK					
MTD, MPD					
PK s dovolenou rychlostí > 50 km/h					
PK s dovolenou rychlostí $\leq 50 \text{ km/h}$					



Přejímka povrchu vozovky pro uvedení úseku do provozu



Posouzení povrchu vozovky na konci záruční doby



Plán souboru opatření pro zvýšení protismykových vlastností povrchu vozovky



Provedení opatření pro zvýšení protismykových vlastností povrchu vozovky

Tabulka 2 - požadovaná klasifikace hodnocení protismykových vlastností a textury povrchu vozovky [13][14]

4. BEZPEČNOSTNÍ PROTISMYKOVÉ ÚPRAVY

4.1. Funkce

Hlavní funkcí BPÚ je zkrácení brzdné dráhy vozidel, zvýšení součinitele tření, jsou schopné odolávat také velkému dopravnímu zatížení po celou dobu životnosti. Přispívají k bezpečnosti silničního provozu a dochází ke snížení dopravních nehod v nebezpečných úsecích. Zlepšují estetický vzhled veřejného prostoru a upozorňují řidiče před nebezpečím, díky své barevnosti (červená, modrá apod.). Předpokládaná doba životnosti je minimálně 5 let, záleží na výrobci, kvalitě použitého kameniva a třídě dopravního zatížení.[6]

4.2. Umístění

Výběr umístění protismykových úprav vychází z databázi dopravních nehod Policie ČR, kde jsou i uvedené výsledky měření protismykových vlastností povrchu vozovky. Jsou zkoumané nehody, kde je zapříčiněn smyk vozidla. Výběr úseků také záleží na klasifikaci hodnocení protismykových vlastností, a také na silnicích, kde je vysoké riziko prodloužení brzdné dráhy.[6]

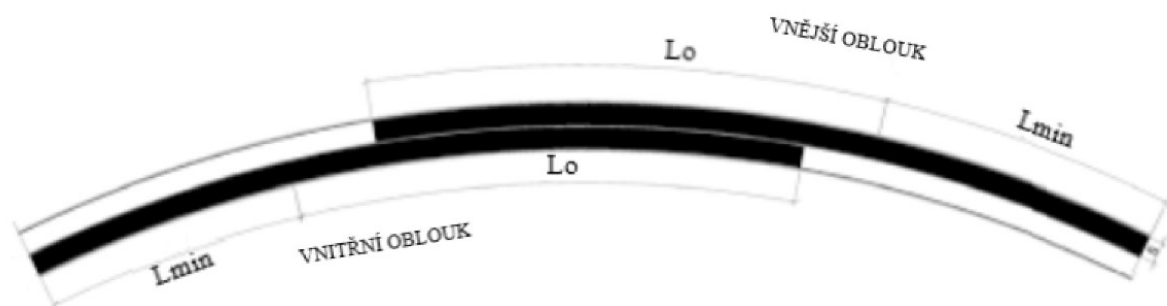
Nejčastěji se BPÚ umísťují na těchto úsecích:

- Přechody pro chodce,
- úroňové křižovatky (včetně okružních),
- úroňové železniční přejezdy,
- ve směrovém oblouku, kde je poloměr menší než 250 m,
- ve směrovém oblouku s příčným sklonem neodpovídajícím jeho poloměru,
- v místech se špatnými rozhledovými podmínkami,
- v klesání/stoupání větší než 8 % v úseku délky větší než 100 m,
- mostní konstrukce,
- nájezdové a sjezdové rampy,
- v kombinaci dvou nebo více vlivů např. klesání + přechod pro chodce, směrový oblouk + klesání atd.,
- zastávky hromadné dopravy,
- vjezdy do tunelů,
- stezky pro cyklisty.

Příklady umístění BPÚ:



Obrázek 12 - Umístění BPÚ před přechodem pro chodce [6]



Obrázek 13 - Umístění BPÚ ve směrovém oblouku [6]

Dle TP 213 [6] se musí také dodržet minimální délka úseku opatřeného BPÚ, kde záleží na nejvyšší dovolené rychlosti úseku (Tabulka 1).

Nejvyšší dovolená rychlost daná místní úpravou	Minimální délka BPÚ (L_{min}) nutná pro zastavení před potenciálním místem vzniku dopravních nehod	Minimální délka BPÚ (L_{min}) před potenciálním místem vzniku dopravních nehod ve směrovém oblouku nebo klesání
50 km.h ⁻¹	30 m	10 m
60 km.h ⁻¹	35 m	15 m
70 km.h ⁻¹	40 m	20 m
80 km.h ⁻¹	45 m	25 m
90 km.h ⁻¹	55 m	35 m

Tabulka 3- minimální délka BPÚ [6]

4.3. Stavební materiály

Bezpečnostní protismyková úprava se skládá ze dvou až tří složek – pojiva, kameniva a zdrsňujícího materiálu. BPÚ se může pokládat za studena nebo za horka. Za studena jsou použity termosetové pojiva – vytvrzují chemickou reakcí (polyuretanová, epoxidová, akrylová pryskyřičná). Za horka jsou použity termoplastická pojiva – při zvýšené teplotě měknou a tečou, po ochlazení se mění na pevné skupenství (pryskyřičná pojiva na bázi esterů).[6]

Pojivo musí vyhovět požadavkům dle tabulky 2, kvůli schopnosti odolávat dopravnímu zatížení.

Vlastnost (zkušební postup)	Požadavek
tahová přílnavost při $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ (ČSN EN ISO 4624, s výjimkou teploty)	$> 0,5 \text{ MPa}$
tahová přílnavost při $(-10\pm 2)^{\circ}\text{C}$ (ČSN EN ISO 4624, s výjimkou teploty)	$> 1,0 \text{ MPa}$

Tabulka 4 - požadavky na pojivo [6]

Kamenivo na BPÚ se používá umělé nebo přírodní. V Česku se používá kamenivo z bauxitu, čediče nebo žuly. Kamenivo je většinou zbarvené do červené (upozorňující) nebo modré barvy (proti náledí). Kamenivo musí vyhovět požadavkům dle tabulky 3.

Vlastnost (zkušební postup)	Požadavek
hodnota ohladitelnosti PSV (ČSN EN 1097-8)	$\text{PSV} \geq 65$ podle ČSN EN 13043
zrnitost (ČSN EN 933-1)	frakce 1/3 $G_{c90/15}$ podle ČSN EN 13043
obsah jemných částic (ČSN EN 933-1)	$f_{0,5}$ podle ČSN EN 13043

Tabulka 5- požadavky na kamenivo [6]

Zdrsňující materiál se používá místo kameniva, je upraven postup přípravy zkušební vzorku – na dno formy se vloží distanční podložka o tloušťce vrstvy pryskyřice pro BPÚ. Po vytvrzení se distanční podložka odstraní. Povrch z pryskyřice se zdrsňuje a následně se nanese pojivo a zdrsňující materiál. Po zatvrzení pojiva se odstraní přebytečná zrna zdrsňujícího materiálu.[6]

Zdrsňující materiál musí vyhovět požadavkům dle tabulky 4.

Vlastnost (zkušební postup)	Požadavek
ohladitelnost (ČSN EN 1097-8, s úpravou zkuš. postupu)	≥ 65
zrnitost (ČSN EN 933-1)	frakce 1/3

Tabulka 6 - požadavky na zdrsňující materiál [6]

4.4. Pokládka BPÚ

Pokládka BPÚ se provádí podle technického předpisu zhotovitele. Teplota vzduchu a povrchu by měla být 5–35 °C (0–35 °C pro pokládku za horka), vlhkost vzduchu nesmí překročit 95 %, povrch musí být suchý. Pokládka může probíhat za studena nebo za horka, většinou se pokládá ručně. Z povrchu před aplikace se odstraní uvolněná zrna kameniva, nečistoty, olejové a mastné skvrny, které mohou snížit přilnavost BPÚ. Dopravní značení a povrchové znaky inženýrských sítí, musí být před aplikací pojiva zakryty, aby byla zachována jejich funkce. Vymezení prostoru BPÚ se provádí pomocí papírové pásky, která je odstraněna po použití kameniva. Doba vytvrzení záleží na klimatických podmínkách a použitého pojiva. Termosetové pojiva vytvrzují v rámci několika hodin, termoplastické v řádu několika minut.[6]

4.4.1. Pokládka za studena

Dvousložkové termosetové pojivo se promíchá, tak aby vznikla homogenní směs (2-3 minuty). Pojivo se míchá v poměru 50:50 v množství 1,35-1,80 kg/m². Poté se rovnoměrně roztírá po povrchu pomocí pryžových zubatých stěrek, které stanovují jeho výšku. Ihned po rozetření pojiva se na něj rozsypává kamenivo s přebytkem. Kamenivo se rozhazuje ručně lopatou a poté se rovnoměrně rozprostře po povrchu. Po vytvrzení pojiva (povrch odolá tlaku prstu) se ručně nebo mechanicky odstraní přebytečné kamenivo nebo zdrsňující materiál.[6]

4.4.2. Pokládka za horka

Směs pojiva a kameniva nebo zdrsňujícího materiálu se zahřeje na teplotu v rozmezí 170-230 °C a míchá se v kotli, dokud směs není homogenní. Nesmí být překročena teplota 210-250 °C (záleží na použitém pojivu), aby nedošlo k degradaci. Horká směs se nalévá do nádob, poté je přemístěna na místo aplikace, kde se přelévá do předem připravené formy. Tloušťka vrstvy je 3-5 mm. Množství směsi se pohybuje v rozmezí 8,5 – 12,5 kg/m² pro průměrnou střední hloubku makrotextury 1,5 mm. Pro vyšší hloubku makrotextury se použije větší množství směsi. Musí se zajistit dostatečné rozprostření kameniva, aby nedocházelo ke shlukům zrn nebo míst s nedostatkem množství kameniva.[6]

4.5. Zkoušky vlastností BPÚ

Zkoušky na požadované vlastnosti BPÚ se ověřují pomocí průkazních a kontrolních zkoušek. **Průkazní zkoušky** [6] se zabývají – soudržností kameniva (zdrsňujícího materiálu) a pojiva, tahovou přílnavostí k podkladu, hodnotou součinitele tření zjištěná kyvadlem (PTV), střední hloubkou makrotextury zjištěnou pomocí odměrné metody (MTD). Poslední dvě průkazní zkoušky (PTV, MTD) jsou řešeny v této bakalářské práci v kapitole 6. Laboratorní měření.

Vlastnost	zkušební postup	Požadavek
tahová přílnavost při (20±2)°C	Příloha A	> 0,5 MPa
hodnota součinitele tření zjištěná kyvadlem (PTV) ¹⁾	ČSN EN 13036-4	≥ 70
střední hloubka makrotextury zjištěná odměrnou metodou (MTD) ¹⁾	ČSN EN 13036-1	≥ 0,75 mm

Tabulka 7 - průkazní zkoušky – požadavky na BPÚ [6]

Kontrolní zkoušky [6] se zabývají vlastnostmi stavebních materiálů – tahová přílnavost pojiva, hodnota ohladitelnosti, zrnitost, obsah jemných částic kameniva nebo zdrsňujícího materiálu. Kontrolní zkoušky se provádí na nově zhotovených BPÚ, kde musí vyhovět několika požadavkům, zkoumá se – rovnoměrnost nanesení pojiva, podíl uchycených zrn kameniva nebo zdrsňujícího materiálu, povrchová struktura, vady povrchu, součinitel tření zjištěný dynamickým zařízením (F_p), hodnota součinitele tření zjištěná kyvadlem (PTV). Na konci záruční doby obvykle 4 roky, se provádějí kontrolní zkoušky s těmito parametry – ztráta zrn kameniva nebo zdrsňujícího materiálu, odlupování vrstvy, trhliny (vizuální zkoušky), součinitel tření zjištěný dynamickým zařízením (F_p), hodnota součinitele tření zjištěná kyvadlem (PTV). Vizualní zkoušky byly provedeny v následující kapitole 5. Aplikace protismykových úprav na území města Ostravy na vybraných úsecích.

Materiál	Zkoušená vlastnost	Zkušební postup	Četnost
pojivo	tahová přílnavost	ČSN EN ISO 4624, s výjimkou teploty	1 x ročně
kamenivo	hodnota ohladitelnosti	ČSN EN 1097-8	1 x ročně
	zrnitost	ČSN EN 933-1	1 x ročně
	obsah jemných částic	ČSN EN 933-1	1 x ročně
zdrsňující materiál	ohladitelnost	ČSN EN 1097-8, úprava zkuš. postupu viz 5.3	1 x ročně
	zrnitost	ČSN EN 933-1	1 x ročně

Tabulka 8 - kontrolní zkoušky stavebního materiálu [6]

Parametr	Zkouška	Požadavek
rovnoměrnost nanesení pojiva	vizuálně	úplné a rovnoměrné pokrytí povrchu
podíl uchycených zrn kameniva nebo zdrsňujícího materiálu		úplné pokrytí plochy s pojivem
povrchová struktura		úplné a rovnoměrné pokrytí povrchu
vady povrchu (např. trhliny, odlupování)		bez vad
součinitel tření zjištěný dynamickým zařízením (F_p)	ČSN 73 6177	měřicí rychlost 60 km/h: $\geq 0,60$
hdnota sočinitele tření zjištěná kyvadlem (PTV)	ČSN EN 13036-4	≥ 70

Tabulka 9 - požadavky na nově zhotovené BPÚ [6]

Parametr	Zkouška	Požadavek
ztráta zrn kameniva nebo zdrsňujícího materiálu	vizuálně	< 5 % plochy
odlupování vrstvy (nezpříčeněné poruchami podkladu)		< 5 % plochy
trhliny (nezapříčeněné poruchami podkladu)		šířka < 0,5 mm
součinitel tření zjištěný dynamickým zařízením (F_p)	ČSN 73 6177	měřicí rychlost 60 km/h: $\geq 0,60$
hdnota sočinitele tření zjištěná kyvadlem (PTV)	ČSN EN 13036-4	≥ 70

Tabulka 10 - požadavky na BPÚ na konci záruční doby [6]

5. APLIKACE PROTISMYKOVÝCH ÚPRAV NA ÚZEMÍ MĚSTA OSTRAVY

První praktická část mé bakalářské práce se zabývá aplikací protismykových úprav na několika vybraných úsecích v území města Ostravy. Byla zjištěna nehodovost před a po realizaci BPÚ, datum aplikace, technologie, délka, maximální povolená rychlost a byly udělány vizuální zkoušky dle tabulky 10 – požadavky na BPÚ na konci záruční doby. Vybrané úseky mají téměř totožnou intenzitu provozu.

Zabýval jsem se těmito úseky, kde je aplikována BPÚ:

- na mostě ev.č. 11-144 (přes řeku Ostravici), silnice I/11 ul. Rudná,
- v místě mimoúrovňové křižovatky silnice I/56 ul. Místecká s ul. Rudnou,
- ve směrovém oblouku silnice I/58 v úseku Nová Bělá – Krmelín,
- v místě mimoúrovňové křižovatky silnice I/11 ul. Rudná, sjezd a ul. Nad Porubkou,
- před přechodem pro chodce na místní komunikaci Čujkovova.

Celkové vyhodnocení těchto úseků (nehodovosti, stavu BPÚ) najdeme v příloze č.1.

5.1. Most ev. č. 11-144, silnice I/11 ul. Rudná

- Poloha: přímý úsek silnice I/11 na pomezí Ostrava – Vítkovice a Ostrava – Kunčice.
- Datum aplikace: 2015, při rekonstrukci mostu v roce 2018 byla z větší části odstraněna (tmavě červená barva obr.14).
- Technologie: FROSTGRIP (modrá) – zabráňuje vzniku náledí.
- Délka BPÚ: 315 m, dnes 80 m, BPÚ sloužila jako zkušební úsek pro technologii FROSTGRIP.
- Nehodovost: 40 nehod se zde vyskytuje před datumem aplikace od roku 2006. U sedmi nehod je způsobeno lehké zranění. Od roku 2015 do roku 2018, kdy byla aplikace BPÚ z části odstraněna se zde vyskytuje 12 nehod z toho u dvou je způsobeno lehké zranění. Po dobu dalších 3 let do roku 3/2021 se na úseku stalo 16 nehod (3 lehké zranění), nehody jsou zapříčiněny jízdou v protisměru, nedodržením bezpečné vzdálenosti vozidel.[8]
- Maximální dovolená rychlost: 80 km/h.



Obrázek 14 - Umístění BPÚ první zkoumaný úsek [9]

Na této protismykové úpravě jsem si všiml vysokého vzniku trhlin v místech vodorovného dopravního značení. Většina trhlin je zapříčiněno poruchami podkladu. Na obrázku 16 se vyskytuje příčná trhlina. Neobjevuje se zde odlupování vrstvy, ani ztráta zrn kameniva. Dle mého názoru by mělo dojít k lokální údržbě trhlin.



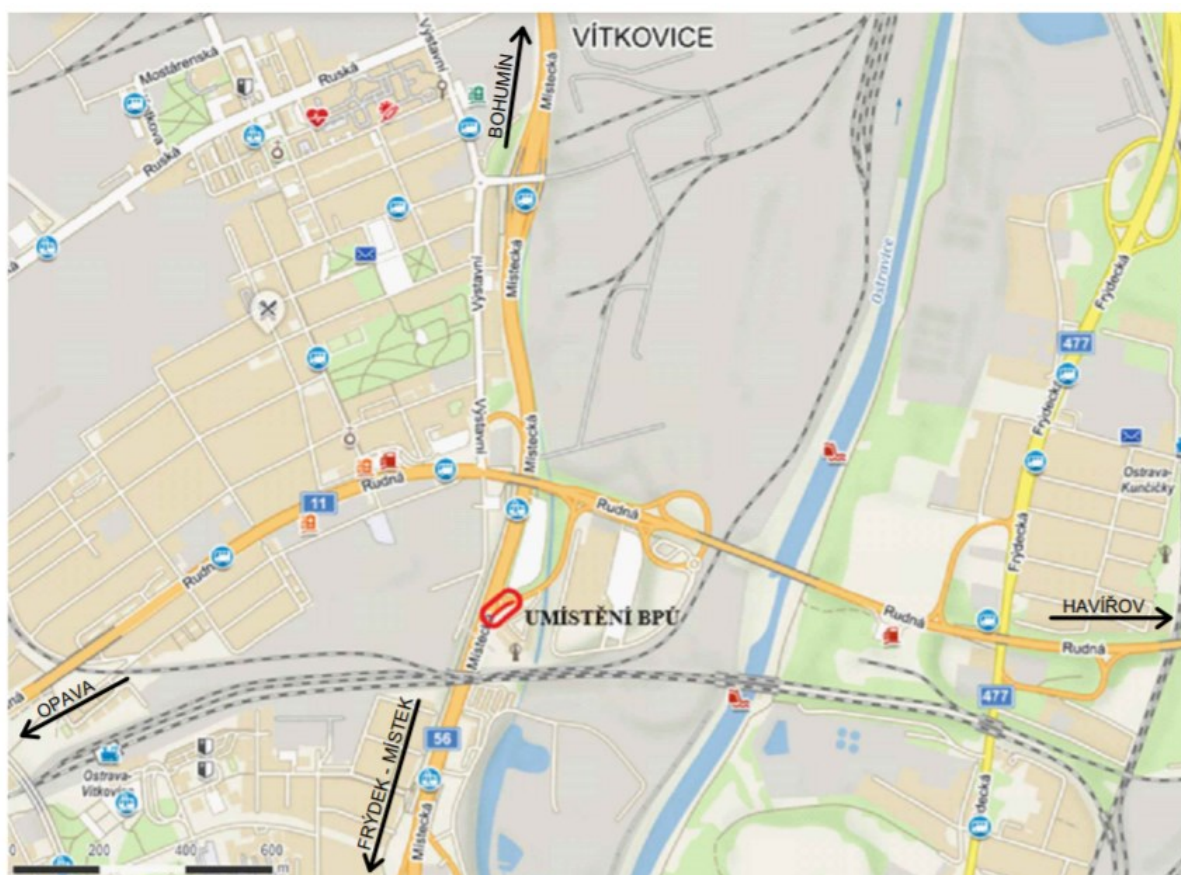
Obrázek 15 - Pohled na BPÚ ze směru Havířov



Obrázek 16 – Trhliny na BPÚ a vodorovném dopravním značení

5.2. Mimoúrovňová křižovatka silnice I/56 ul. Místecká s ul. Rudná

- Poloha: ve směrovém oblouku na silnici I/56 MÚK ul. Místecká s ul. Rudnou.
- Datum aplikace: 2016.
- Technologie: TYREGrip (červená).
- Délka BPÚ: 100 m.
- Nehodovost: Na tomto úseku bylo způsobeno 28 dopravních nehod. Při devíti nehodách bylo způsobeno lehké zranění. Příčina většiny nehod je způsobována nedodržením maximální rychlosti. Jedná se o srážky s pevnou překážkou nebo srážky s nekolejovým vozidlem. Přítomnost těžké nehody se objevuje v podobě srážky s chodcem. Od roku 2016 se stala pouze jedna nehoda s lehkým zraněním.[8]
- Maximální dovolená rychlost: 50 km/h.



Obrázek 17 - Umístění BPÚ druhý zkoumaný úsek [9]

Protismyková úprava se nachází ve směrovém oblouku na obrázcích níže můžeme vidět, že je zde veden chodník bez přechodu pro chodce – hrozí zde velké riziko srážky s chodcem. Bezpečnostní protismyková úprava zde nevykazuje žádné větší poruchy. Vyskytuje se zde pouze odlupování vrstvy v místě vodorovného dopravního značení obr. 20. Trhliny jsou zapříčiněné poruchou podkladu. Maximální dovolená rychlost je v tomto úseku řidiči často překročena. BPÚ je na konci záruční doby (5 let od doby aplikace) pořád v dobrém stavu.



Obrázek 18 - Pohled na BPÚ ze směru Ostrava – Hrabůvka



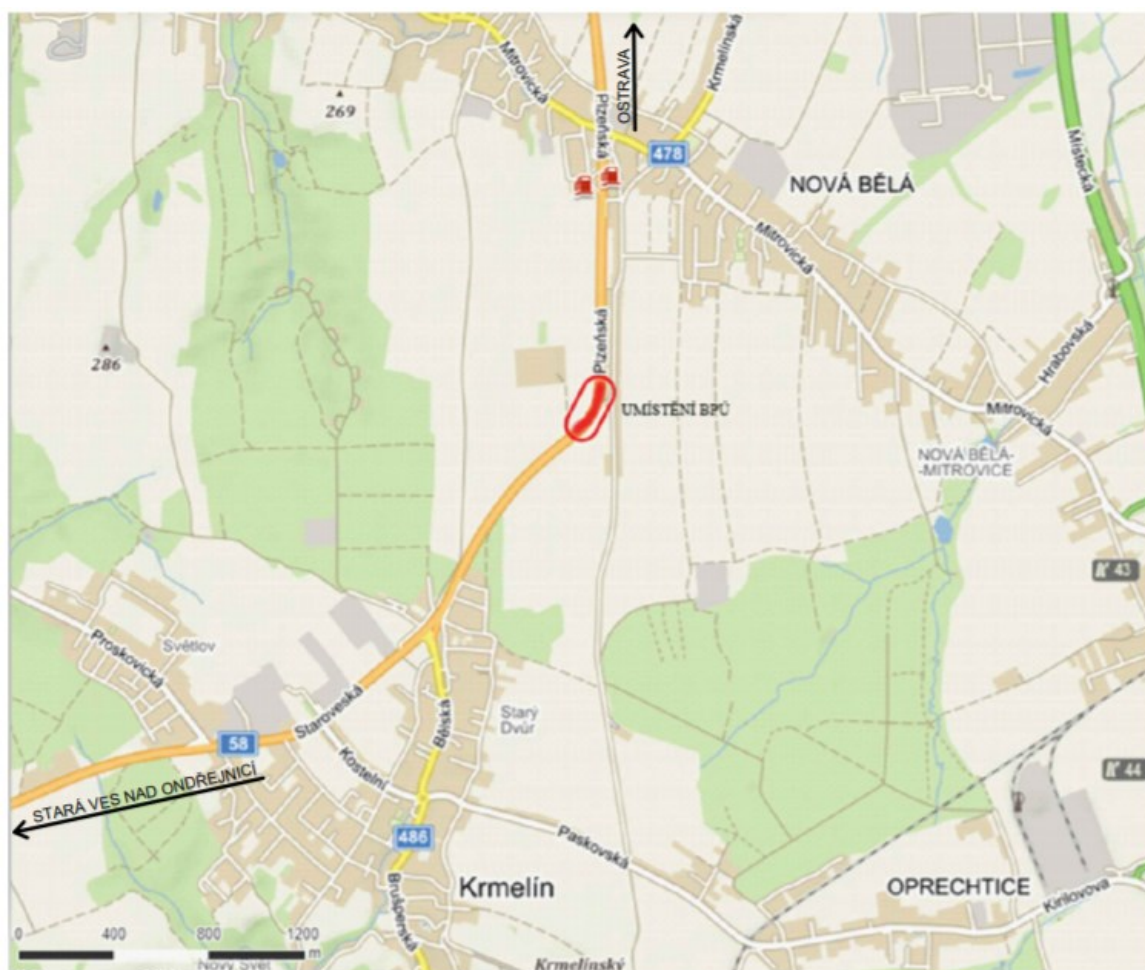
Obrázek 19 - Pohled na směrový oblouk



Obrázek 20 - Odlupování vrstvy v místě vodorovného dopravního značení

5.3. Směrový oblouk, silnice I/58 v úseku Nová Bělá – Krmelín

- Poloha: ve směrovém oblouku na silnici I/58 v úseku Nová Bělá – Krmelín ul. Plzeňská, Nová Bělá, Ostrava.
- Datum aplikace: 10/2020.
- Technologie: TYREGrip (červená).
- Délka BPÚ: vnější oblouk 110 m – směr Krmelín – Nová Bělá / vnitřní oblouk 30 m – směr Nová Bělá – Krmelín
- Nehodovost: V tomto úseku se stalo celkem 11 dopravních nehod, všechny se staly před aplikací BPÚ (od roku 1/2006 do 10/2020). Tři řidiči vozidel utrpěli lehké zranění. Příčina nehod je zaviněná špatným předjížděním nebo jízdě ve vysoké rychlosti a vjetí do protisměru. Na zavinění nehody se také dvakrát podílela lesní zvěř, která v místě za směrovým obloukem vběhla řidiči na silnici. [8]
- Maximální dovolená rychlost: 50 km/h.



Obrázek 21 - Umístění BPÚ třetí zkoumaný úsek [9]

Protismyková úprava se nachází ve směrovém oblouku a také na nově vybudované tříramenné křižovatce. Jedoucí vozidla překračují často maximální dovolenou rychlost a přejíždějí ve směrovém oblouku do protisměru. Bezpečnostní protismyková úprava vykazovala pouze dvě menší vady – odlupování zrn kameniva v kruhovém průměru 2-4 cm obrázek 24. Vady nijak nenarušují funkci BPÚ, není tedy nutná údržba.



Obrázek 22 – Pohled na směrový oblouk ze směru Krmelín



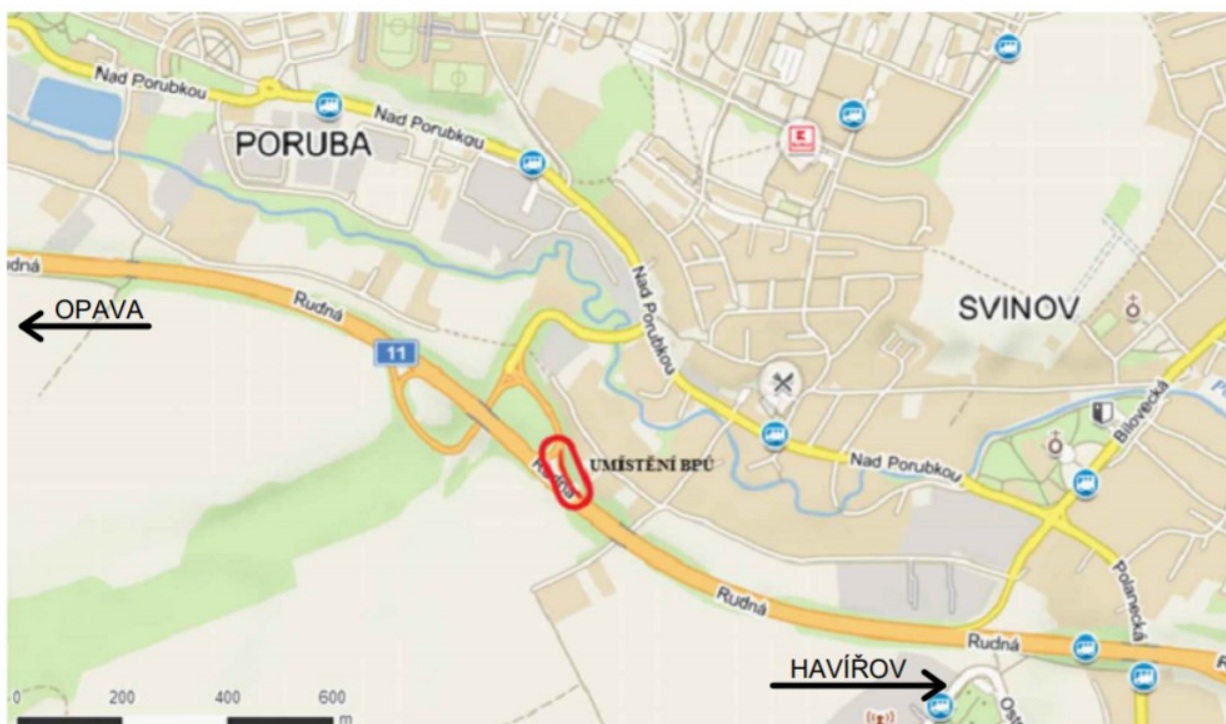
Obrázek 23 – Pohled na směrový oblouk ze směru Nová Bělá



Obrázek 24 - Odlupování zrn vrstvy kameniva

5.4. Mimoúrovňová křižovatka silnice I/11 ul. Rudná s ul. Nad Porubkou

- Poloha: ve směrovém oblouku na mimoúrovňové křižovatce silnice I/11 ul. Rudná s ul. Nad Porubkou, Ostrava – Svinov.
- Datum aplikace: 10/2020.
- Technologie: TYREGrip (červená).
- Délka BPÚ: 80 m.
- Nehodovost: Od roku 1/2006 se zde vyskytuje 11 dopravních nehod. Pouze jedna nehoda s lehkým zraněním. Všechny nehody byly způsobené vysokou rychlostí vozidel, za horších podmínek (mlha, mokrá povrch, náledí). Po realizaci BPÚ se nestala žádná nehoda. [8]
- Maximální dovolená rychlost: 90 km/h, těsně před sjezdem na ul. Nad Porubkou je umístěna značka maximální povolené rychlosti 30 km/h a výstražná značka A22 – Jiné nebezpečí.



Obrázek 25 - Umístění BPÚ čtvrtý zkoumaný úsek [9]

Protismyková úprava se nachází ve směrovém oblouku na sjezdu ze silnice I/11. Směrový oblouk má nízký poloměr a silnice je jednopruhová se šířkou 4 m. Mnoho řidičů nedodržuje maximální povolenou rychlost, to má za následek srážku vozidla s pevnou překážkou (svodidla, směrový sloupek, patník apod.). Vzhledem k tomu, že datum realizace byl 10/2020, BPÚ je ve velice dobrém stavu.



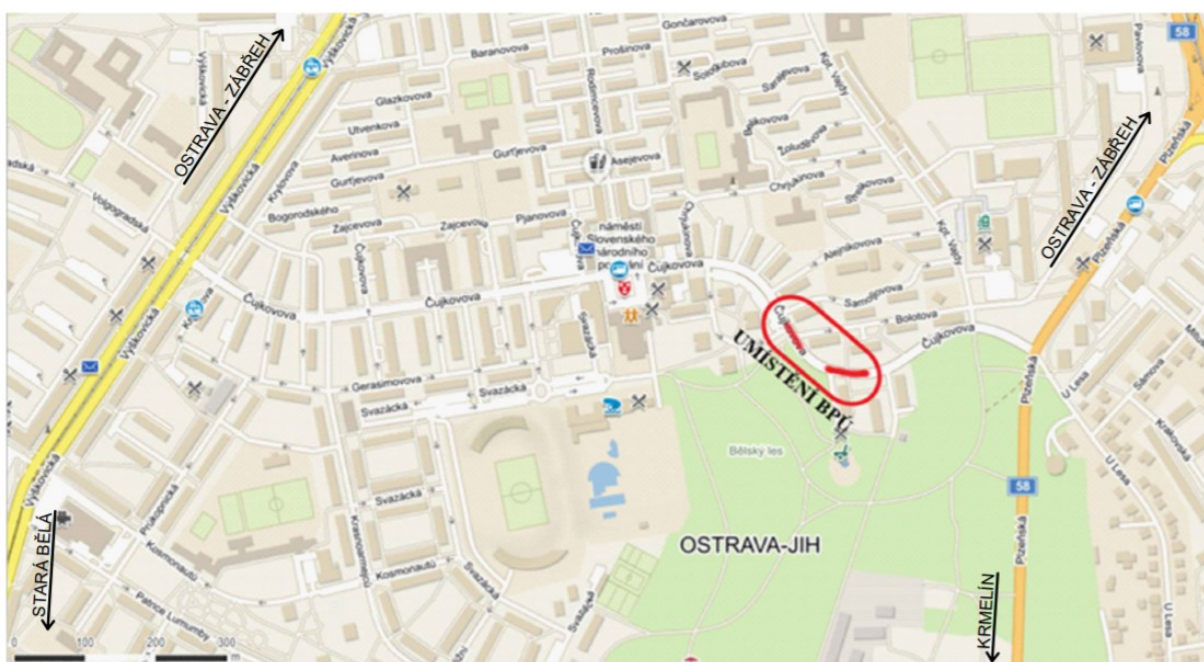
Obrázek 26 - Pohled na směrový oblouk v místě sjezdu na ul. Nad Porubkou



Obrázek 27 - Pohled na aplikaci BPÚ z ul. Rudná

5.5. Před přechodem pro chodce, místní komunikace Čujkovova

- Poloha: před přechodem pro chodce na místní komunikace Čujkovova, Ostrava – Jih
- Datum aplikace: 12/2011
- Technologie: TYREGRIIP (červená)
- Délka BPÚ: 30 m v obou úsecích
- Intenzita dopravy: Střední (odhad RPD1 12 000 – 15 000 voz/den)
- Nehodovost: Celkem 6 nehod se stalo před realizací BPÚ od roku 1/2006, příčinou těchto nehod je nedodržení bezpečné vzdálenosti vozidel. Objevuje se zde srážka s chodcem, který utrpěl lehké zranění. Za téměř deset let po aplikaci (12/2011–3/2021) se vyskytuje pouze 5 nehod, dvakrát řidič nezvládl řízení a narazil do stromu při čemž utrpěl lehké zranění. Nehody bývají ve směrovém oblouku za přechodem pro chodce, snížení nehodovosti můžeme považovat za úspěšné, protismyková úprava zde plní svůj účel, kdy upozorňuje řidiče na nebezpečný úsek červenou barvou. [8]
- Maximální dovolená rychlost: 50 km/h



Obrázek 28- Umístění BPÚ pátý zkoumaný úsek [9]

Na místní komunikaci Čujkovova byly vybrány dva úseky BPÚ, které se nachází před přechodem pro chodce. Úseky zcela nesplňují požadavky na BPÚ dle tabulky 10. Jak můžeme vidět na obrázcích níže, vyskytuje se zde velký počet trhlin, odlupování vrstvy kameniva a ztráta zrn kameniva. BPÚ svou funkci plní pouze vizuálně – upozorňuje řidiče na místo s přechodem pro chodce. Odlupování vrstev a vznik trhlin je příčinou častého brždění vozidel před přechodem pro chodce. Pro funkci snížení brzdné dráhy, by mělo dojít k nové pokládce BPÚ.



Obrázek 29 - Pohled na BPÚ před přechodem pro chodce – úsek v přímé



Obrázek 30 - Trhliny a odlupování vrstvy



Obrázek 31 - Pohled na BPÚ před přechodem pro chodce – úsek ve směrovém oblouku



Obrázek 32 – Úplná ztráta zrn kameniva BPÚ těsně před přechodem pro chodce



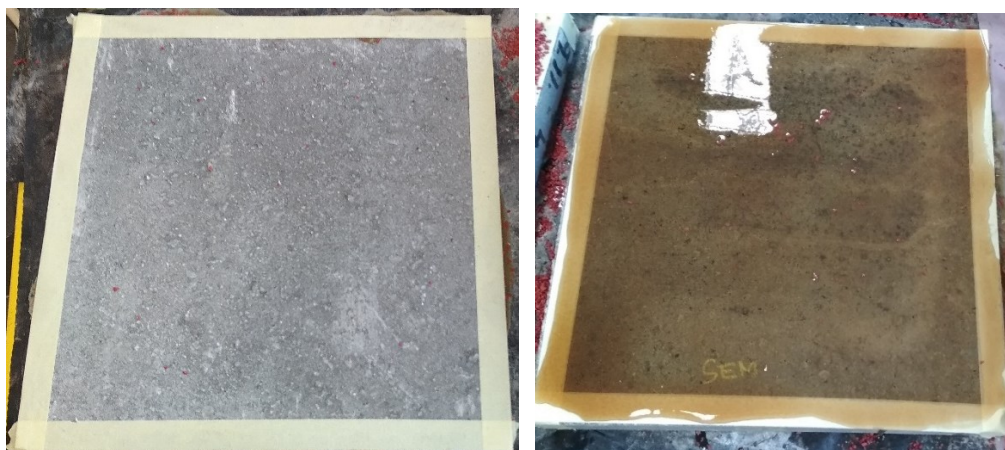
Obrázek 33 - Trhliny a odlupování vrstvy zrn kameniva BPÚ

6. LABORATORNÍ MĚŘENÍ

V této praktické části bakalářské práce se zabývám provedení zkoušek a vyhodnocení vzorků z umělého kameniva, které je určeno pro protismykové úpravy. Byly řešeny dvě zkušební metody pro povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch. Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou a Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadlem. Jako umělé kamenivo bylo použito kamenivo Tyregrip LT a FROSTGRIP. Použité kamenivo zaslala firma Značky Morava, a.s., která vede společný projekt s VŠB-TU Ostrava – Fakultou stavební. Název projektu „Využití nových technologií a postupů v údržbě ostění tunelů a v recyklování kameniva pro aplikaci BPÚ.“ Měření bylo uskutečněno v laboratořích VŠB-TU Ostrava – Fakultě stavební, ve dnech 8.1.2020, 3.2.2020 a 10.2.2020. Zápis naměřených hodnot proběhl do sešitu. Proběhla také fotodokumentace laboratorního měření uvedena v příloze 2.

6.1. Postup pokládky BPÚ na zkušební dlaždice

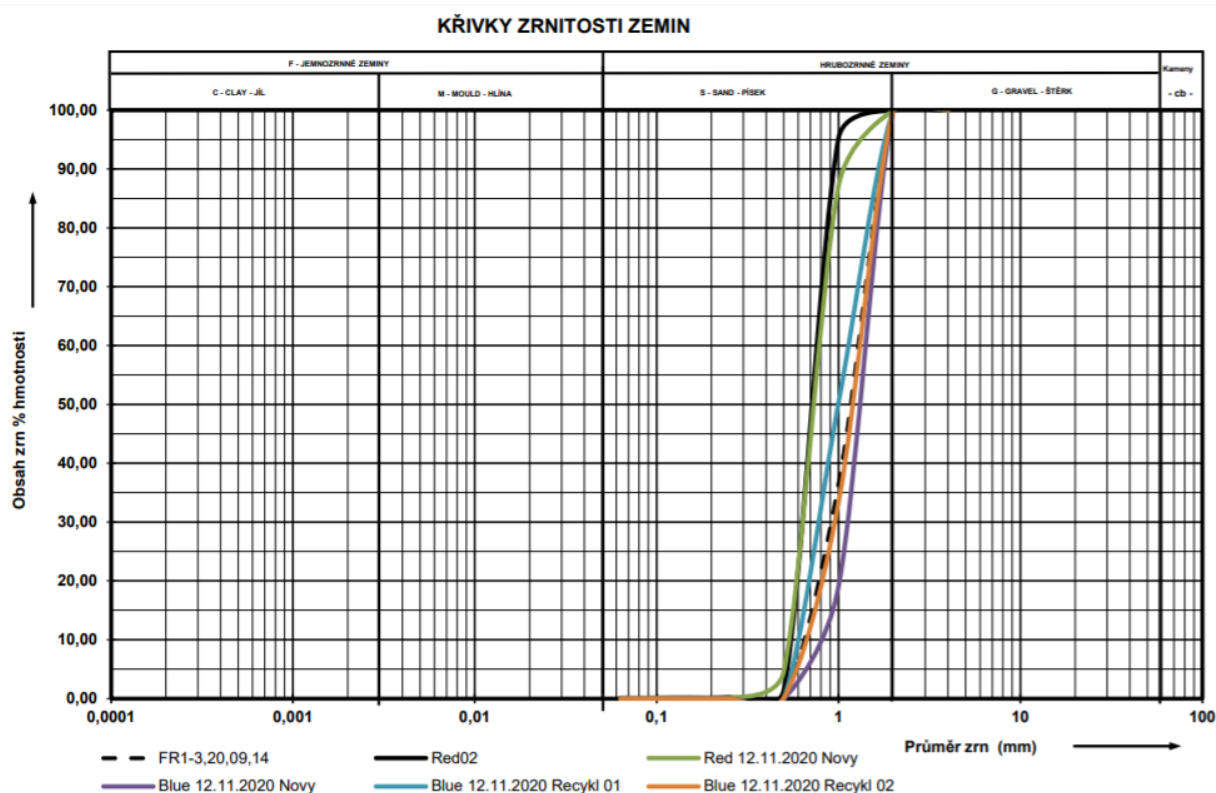
Povrch určený pro aplikaci BPÚ musí být suchý, čistý a bez volných částic. Na povrch se po obvodu přilepí krepová páska o šíři 10 mm. Po důkladném promíchání dvou složek pojiva (epoxid/amin) v poměru 50:50 (složka A a B) se nanese na povrch dlaždice. Aby byla dodržena odpovídající vrstva (výška vrstvy 1-1,5 mm), použije se k rozetření stěrka se zuby. Spotřeba pryskyřice je $1,7 \text{ kg/m}^2$ ($0,85 \text{ kg/m}^2$ složky A, $0,85 \text{ kg/m}^2$ složky B). V našem případě má dlaždice rozměry 300x300 mm, na jednu dlaždici bylo použito 170 g pojiva. Na pojivo se aplikuje v rovnoměrné vrstvě kamenivo, tak aby bylo pojivo překryto větším množstvím kameniva. Spotřeba kameniva je 5 kg/m^2 . V závislosti na okolní teplotě by měl být systém vytvrzený po 2-3 hodinách. Poté lze odstranit přebytečné kamenivo.



Obrázek 34 – CB dlaždice – nanesení pojiva

6.2. Technologie

Pro laboratorní měření byly použity dva druhy kameniva, v rámci projektu nám byla poskytnuta zkouška hodnoty ohladitelnosti kameniva provedena firmou QUALIFORM, a.s., kde se hodnota ohladitelnosti kameniva PSV rovná 71 (TYREGrip) a 72 (FROSTGRIP), protokol je uveden v příloze 3. Podle křivky zrnitosti je kamenivo zaříděno ve všech případech jako SP – písek špatně zrněný (ČSN 73 1001). Oba druhy kameniva vyhovují požadavkům na BPÚ dle TP 213 [6].



Obrázek 35 - Křivka zrnitosti [QUALIFORM a.s.]

6.2.1. TYREGrip

Systém TYREGrip se skládá z dvousložkové reakční pryskyřice (pojivo) a červeného žulového kameniva frakce 1 mm – 3 mm. Dle laboratorních zkoušek bylo zjištěno, že ve všech parametrech překračuje požadované hodnoty dle TP 213. Použití menších frakcí kameniva se využívá na rampy pro vozíčkáře, cyklostezky a pěší zóny. [15]

6.2.2. FROSTGRIP

Systém FROSTGRIP je bezpečnostní protismyková úprava vozovky modré barvy eliminující vznik náledí a nebezpečí námrazy. Vytvořením makrotextury 0,3 – 4 mm snižuje riziko vytvoření smyku vozidla a také vylepšuje rychlejší odvod dešťové vody. Systém se nejvíce používá na mostech, jelikož mostní konstrukce mají různou tepelnou akumulaci a vodivost oproti zemnímu tělesu. Před aplikací se využije metoda tryskání ocelovými kuličkami, aby byl povrch zdrsňen a zbaven nečistot. [16]

6.3. Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou

Tato zkušební metoda byla použita na třinácti vzorcích. Měření bylo provedeno podle platné normy ČSN EN 13036-1 [3].

Měření bylo provedeno následujícím způsobem – povrch zkušební vzorku se očistí drátěným kartáčem a následně měkkým štětinovým tak, aby odstranili všechny nečistoty a zbylá uvolněná zrna kameniva. Princip měření spočívá v použití stejného množství homogenního materiálu (skleněné kuličky), který se rovnoměrně rozprostře a zcela zarovná do jedné roviny. Objem materiálu je stanoven na $25\,000\,(25\,\text{ml}) \pm 150\,\text{mm}^3$. Poté se změří čtyři hodnoty průměru kruhové plochy vyplněné materiálem, v našem případě bylo k měření použito posuvné měřítko. Výsledkem je střední hloubka makrotextury MTD. Poté vyhodnotíme dle TP 213 [6], zda splňují podmínky na nově zhotovené BPÚ.

Střední hloubka makrotextury povrchu vozovky, MTD, se vypočítá podle rovnice (1) [3]:

$$MTD = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (1) \quad [3]$$

Kde MTD – střední hloubka makrotextury [mm];

V – objem materiálu (tj. vnitřní objem válce) [mm³];

D – aritmetický průměr [mm]

6.3.1. Výsledky měření odměrnou metodou

V tabulce 11 najdeme výsledné hodnoty střední hloubky makrotextury, kde je použito kamenivo typu Tyregrip LT na cementobetonový povrch. Zde platí, že čím více nového kameniva je použito, tím větší je hodnota MTD. Hodnota splňuje požadavky na BPÚ, kdy musí být větší než 0,75 mm. Nevyšší hodnota se rovná 1,73 mm u použití pouze nového kameniva, zatímco nejmenší hodnota se rovná 1,38 mm u použití pouze recyklovaného kameniva. Z výsledků je známo, že u cementobetonového povrchu střední hloubka makrotextury klesá s procentuálním zastoupením recyklovaného kameniva Tyregrip LT.

	Vzorek č.1	Vzorek č.2	Vzorek č.3	Vzorek č.4	Vzorek č.5
Povrch	CB-dlaždice	CB-dlaždice	CB-dlaždice	CB-dlaždice	CB-dlaždice
Kamenivo	Tyregrip LT	Tyregrip LT	Tyregrip LT	Tyregrip LT	Tyregrip LT
Barva	červená	červená	červená	červená	červená
Zastoupení kameniva	0% Rec.	25% Rec.	50% Rec.	75% Rec.	100% Rec.
1. měření [cm]	13,23	14,53	14,77	15,16	15,21
2. měření [cm]	12,98	14,12	14,44	14,8	15,08
3. měření [cm]	13,73	13,16	14,59	14,94	14,49
4. měření [cm]	14,28	13,41	14,65	14,72	15,97
Průměr [mm]	135,55	138,05	146,13	149,05	151,88
MTD	1,73	1,67	1,49	1,43	1,38
Dle TP 213	MTD>=0,75				

Tabulka 11 - výsledky měření CB (Tyregrip)



Obrázek 36 – Metoda MTD – vzorek č.4

V tabulce 12 najdeme výsledné hodnoty střední hloubky makrotextury, kde je použito kamenivo typu Tyregrip LT na asfaltobetonový povrch. Oproti CB povrchu se zde hodnoty liší a nezáleží, zda je kamenivo recyklované nebo nové. Vzorky asfaltobetonových dlaždic měly mezerovitost okolo 30 %. Hodnoty splňují požadavky na BPÚ, kdy musí být větší než 0,75 mm. Nevyšší hodnota se rovná 1,55 mm u použití 25 % recyklovaného kameniva. Nejmenší hodnota se rovná 1,25 mm u použití 50 % recyklovaného kameniva. Vzhledem k různé mezerovitosti asfaltobetonových dlaždic nejsou hodnoty MTD lineární.

	Vzorek č.6	Vzorek č.7	Vzorek č.8	Vzorek č.9	Vzorek č.10
Povrch	Asf - dlaždice	Asf - dlaždice	Asf - dlaždice	Asf - dlaždice	Asf - dlaždice
Kamenivo	Tyregrip LT	Tyregrip LT	Tyregrip LT	Tyregrip LT	Tyregrip LT
Barva	červená	červená	červená	červená	červená
Zastoupení kameniva	0% Rec.	25% Rec.	50% Rec.	75% Rec.	100% Rec.
1. měření [cm]	14,7	15,14	16,25	14,88	14,84
2. měření [cm]	14,61	14,43	16,32	15,23	14,2
3. měření [cm]	15,11	14,47	15,37	15,61	14,69
4. měření [cm]	15,12	13,36	15,94	16,42	15,23
Průměr [mm]	148,85	143,50	159,70	155,35	147,40
MTD	1,44	1,55	1,25	1,32	1,47
Dle TP 213	MTD ≥ 0,75				

Tabulka 12 - výsledky měření asf. (Tyregrip)



Obrázek 37 – Metoda MTD – vzorek č.8

V tabulce 13 najdeme výsledné hodnoty střední hloubky makrotextury, kde je použito kamenivo typu FROSTGRIP na cementobetonový povrch. Byly k dispozici pouze tři vzorky, které byly poté použity pro destruktivní tahové zkoušky. Hodnoty opět vyhovují požadavkům na BPÚ. Největší hodnota je 2,30 mm, ovšem u kameniva FROSTGRIP mohou dosahovat hodnoty střední hloubky makrotextury na 4 mm. Nejnižší hodnota se rovná 1,59 mm. Když porovnáme kamenivo FROSTGRIP a Tyregrip, lze říct, že FROSTGRIP dosahuje větších hodnot střední hloubky makrotextury.

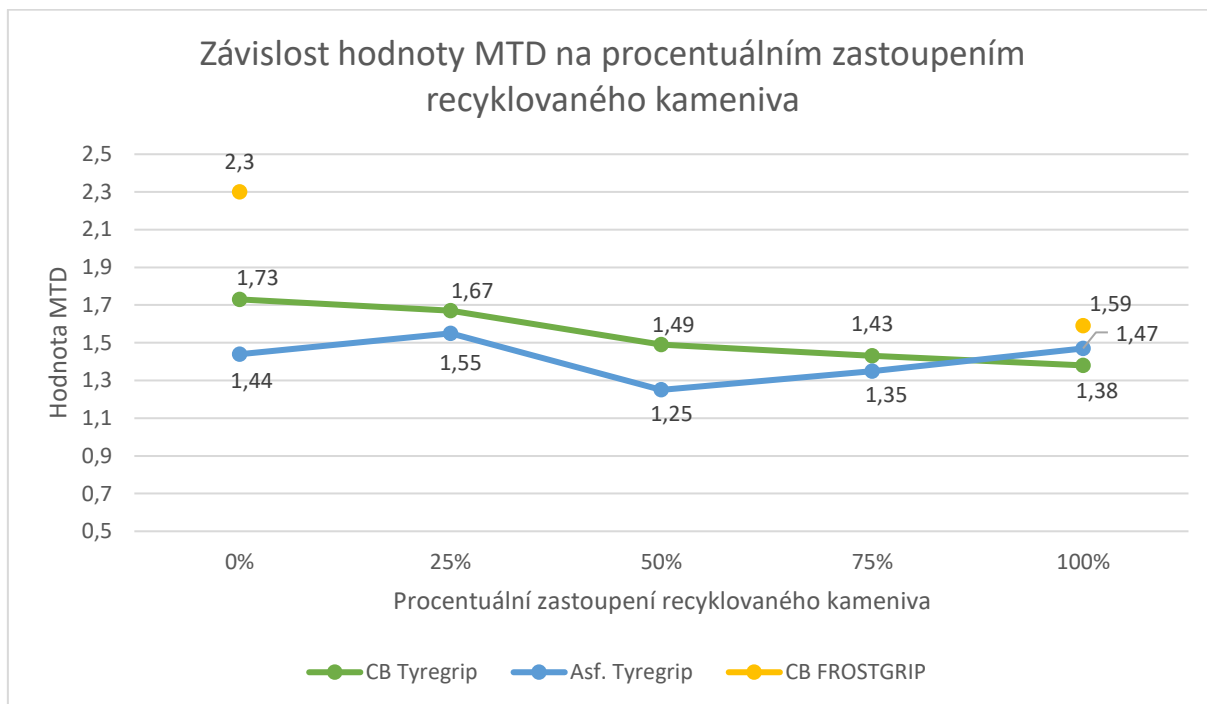
	Vzorek č.11	Vzorek č.12	Vzorek č.13
Povrch	CB-dlaždice	CB-dlaždice	CB-dlaždice
Kamenivo	FROSTGRIP	FROSTGRIP	FROSTGRIP
Barva	modrá	modrá	modrá
Zastoupení kameniva	100% Rec.	100% Rec.	0% Rec
1. měření [cm]	13,4	14,25	13,2
2. měření [cm]	12,7	14,7	11,5
3. měření [cm]	13,05	14,05	11,05
4. měření [cm]	13,02	13,55	11,35
Průměr [mm]	130,43	141,38	117,75
MTD	1,87	1,59	2,30
Dle TP 213	MTD>=0,75		

Tabulka 13 - výsledky měření CB – FROSTGRIP



Obrázek 38 – Metoda MTD – vzorek č.12

Na základě všech výsledků byl vypracován graf 3 - závislost MTD na vlivu použitého kameniva pro BPÚ na jednotlivých površích. Pomocí spojitého grafu můžeme vidět, jak se hodnota MTD mění. Ve všech případech zastoupení recyklovaného kameniva vyhovuje požadavkům na BPÚ a dosahuje téměř dvojnásobku požadované hodnoty střední hloubky makrotextury.



Graf 3 - Závislost MTD na procentuálním zastoupením recyklovaného kameniva



Obrázek 39 – Metoda MTD, přehled vzorků

6.4. Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadlem

Tato zkušební metoda byla použita na deseti vzorcích (vzorek č.1 - vzorek č.10), jelikož poslední tři vzorky byly použity pro destruktivní tahové zkoušky. Měření bylo provedeno podle platné normy ČSN EN 13036-4 [17]. Pro měření byla použita třecí patka 57, využívaná pro povrch určený pro automobilovou dopravu.

Měření bylo provedeno následujícím způsobem – kyvadlo TRRL se postaví nad měřený povrch. Povrch se očistí ručním kartáčem a čistou vodou. Stojan se ustanoví do horizontální roviny pomocí tří stavěcích šroubů, tak aby bublina byla ve středu libely. Rameno kyvadla je potřeba ověřit prokmitem naprázdno, ručička kyvadla se musí zastavit na hodnotu 0, když této hodnoty nedosáhne nebo ji přesáhne, tak se pomocí třecího kroužku upraví, poté se prokmit opakuje. Výška ramene kyvadla se nastaví pomocí fixačního šroubu tak, aby délka prokluzu třecí patky odpovídala 126 ± 1 mm, k tomu je zapotřebí speciální měřítko. Povrch vzorku a třecí patka se dostatečně navlhčí. Rameno se uvolní z vodorovné polohy, poté se zachytí v počáteční fázi zpětného kyvu a odečte se hodnota na stupnici na nejbližší celé číslo, tento postup se opakuje pětkrát, pokud se prvních pět hodnot liší více než o tři jednotky, postup se opakuje, dokud nejsou tři po sobě následující čtení stejné. Zkontroluje se vodorovná poloha kyvadla, a provede se znovu kontrola ramena kyvadla, kde prokmit naprázdno musí mít hodnotu 0. Nesmí dojít ke změně, jinak se musí zkouška opakovat. Výsledkem je hodnota PTV (hodnota tření zjištěná kyvadlem). Poté vyhodnotíme dle TP 213 [6], zda měřený povrch odpovídá požadavkům na nově zhotovené BPÚ.

Hodnota PTV se vypočítá jako průměr pěti kyvů podle rovnice (2) [17]:

$$PTV = \frac{\Sigma(v_1+v_2+v_3+v_4+v_5)}{5} \quad (2) \quad [17]$$

Kde PTV – hodnota tření zjištěná kyvadlem [-]

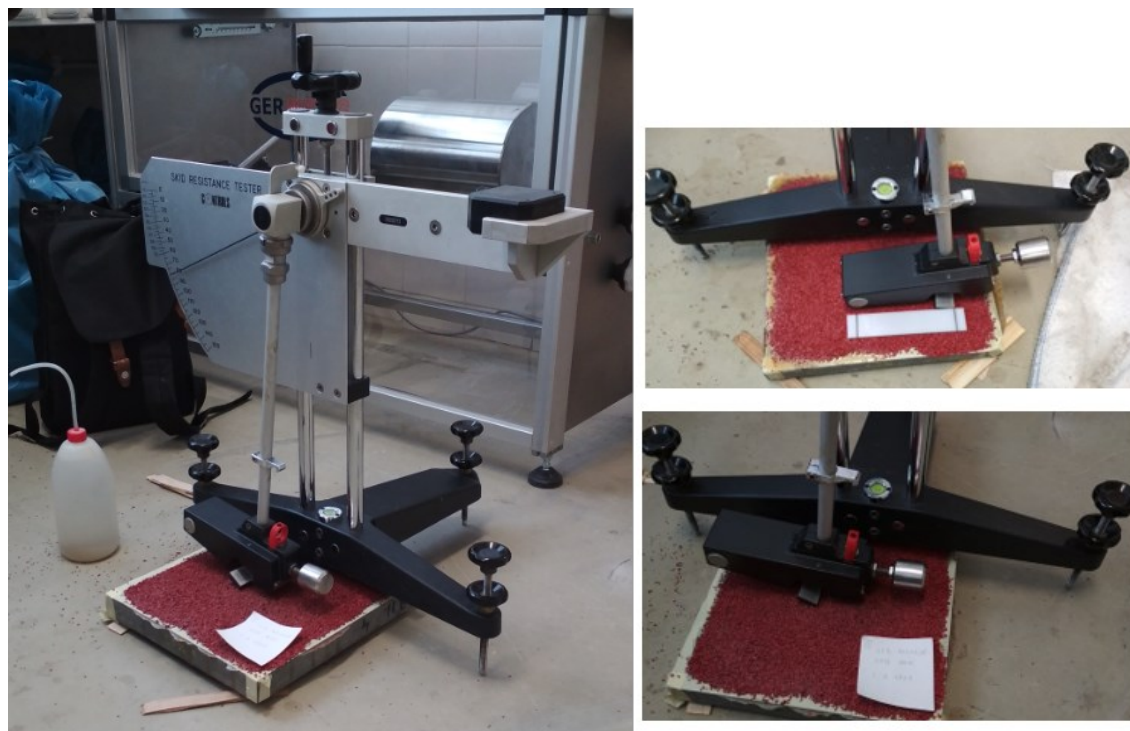
v_1 až v_5 – jednotlivé hodnoty každého kyvu [-]

6.4.1. Výsledky měření zkoušky kyvadlem

V tabulce č. 12 můžeme vidět výsledky měření součinitele tření zjištěné pomocí kyvadla. Hodnota PTV se pohybuje nad 80, to znamená, že je součinitel tření vysoký a vyhovuje požadavkům na BPÚ. Největší odchylka nastala u vzorku č.2, kdy hodnota klesla na 79. Nejvyšší hodnota je překvapivě u 100 % zastoupení recyklovaného kameniva. U cementobetonového povrchu můžeme říct, že hodnota PTV se navyšuje z větším procentuálním zastoupení recyklovaného kameniva.

	Vzorek č.1	Vzorek č.2	Vzorek č.3	Vzorek č.4	Vzorek č.5
Povrch	CB-dlaždice	CB-dlaždice	CB-dlaždice	CB-dlaždice	CB-dlaždice
Kamenivo	Tyregrip LT	Tyregrip LT	Tyregrip LT	Tyregrip LT	Tyregrip LT
Barva	červená	červená	červená	červená	červená
Zastoupení kameniva	0% Rec.	25% Rec.	50% Rec.	75% Rec.	100% Rec.
1. kyv	81	78	85	84	85
2. kyv	82	78	84	83	84
3. kyv	81	80	83	82	84
4. kyv	83	80	85	83	84
5. kyv	83	79	84	83	83
PTV	82	79	84	83	84
Dle TP 213	PTV \geq 70				

Tabulka 14 - výsledky měření PTV – CB dlaždice

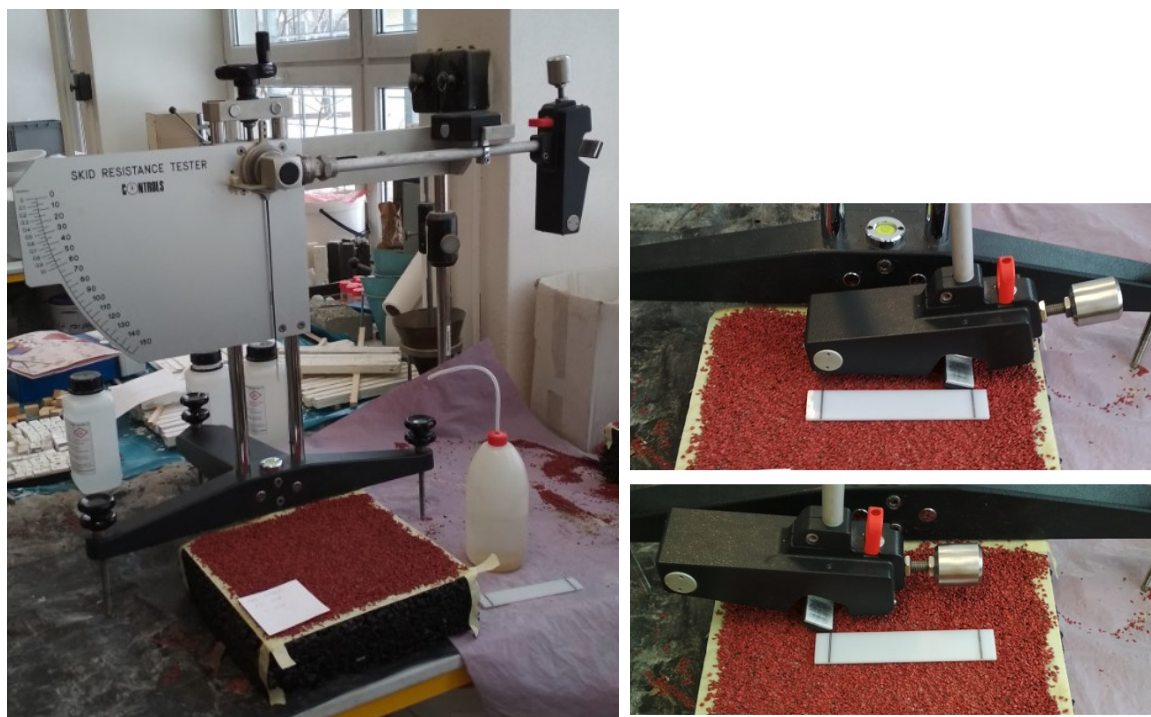


Obrázek 40 – Zkouška kyvadlem – CB Dlaždice

V tabulce 13 jsou znázorněny výsledky měření hodnoty součinitele tření zjištěné pomocí kyvadla na asfaltobetonovém povrchu. Nejmenší hodnota je u 100 % zastoupení recyklovaného kameniva, což je zcela naopak oproti CB povrchu. Největší hodnota je u použití nového kameniva a dosahuje na hodnotu 88. Všechny hodnoty překračují požadavky na BPÚ.

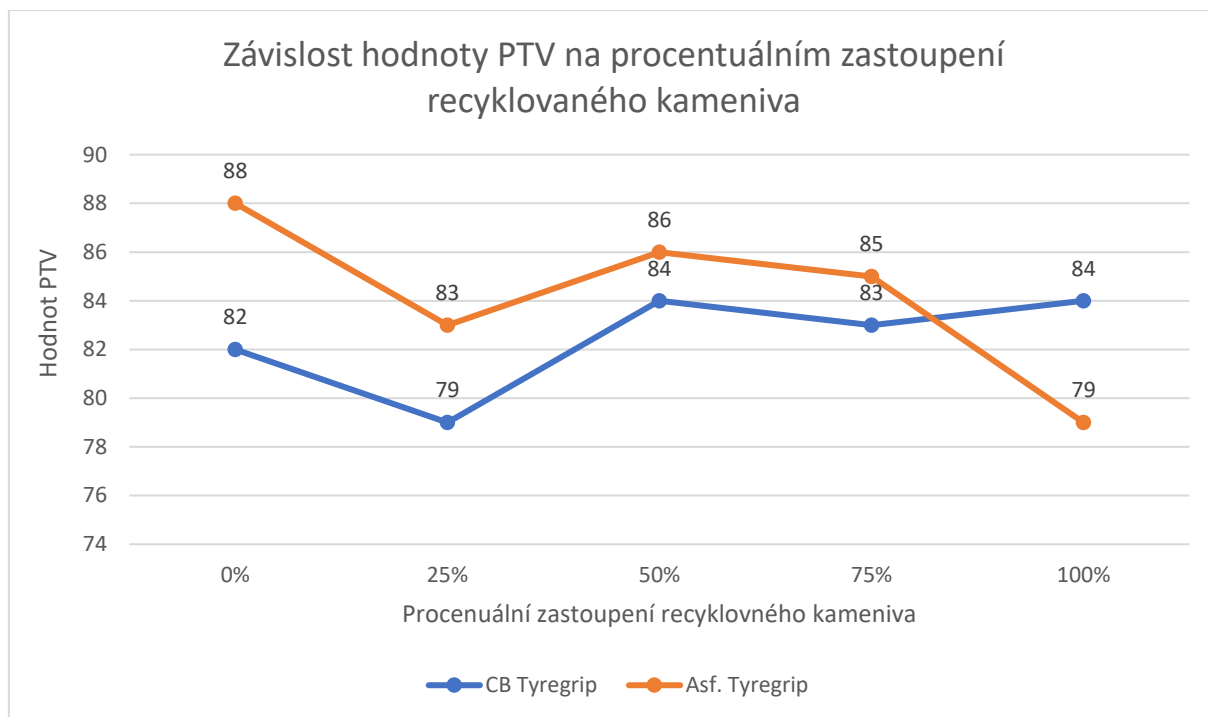
	Vzorek č.6	Vzorek č.7	Vzorek č.8	Vzorek č.9	Vzorek č.10
Povrch	Asf - dlaždice	Asf - dlaždice	Asf - dlaždice	Asf - dlaždice	Asf - dlaždice
Kamenivo	Tyregrip LT	Tyregrip LT	Tyregrip LT	Tyregrip LT	Tyregrip LT
Barva	červená	červená	červená	červená	červená
Zastoupení kameniva	0% Rec.	25% Rec.	50% Rec.	75% Rec.	100% Rec.
1. kyv	88	83	86	84	78
2. kyv	89	83	87	86	79
3. kyv	88	82	86	85	79
4. kyv	89	84	85	84	80
5. kyv	88	82	87	85	78
PTV	88	83	86	85	79
Dle TP 213	PTV_≥70				

Tabulka 15 - výsledky měření PTV – asf. Dlaždice



Obrázek 41 – Zkouška kyvadlem – Asf. dlaždice

Na základě měření byl vypracován graf 4, který vyjadřuje hodnotu součinitele tření zjištěnou kyvadlem na procentuálním zastoupení recyklovaného kameniva. Nejnížší hodnota PTV se vyskytuje na vzorcích s procentuálním zastoupením kameniva 25 %. Nejvyšší hodnota se liší u CB dosahuje při použití pouze nového kameniva, u asfaltobetonových dlaždic je nejvyšší hodnota při použití pouze recyklovaného kameniva. Nemůžeme tedy konstatovat, zda je lepší použití recyklovaného nebo nového kameniva při realizaci BPÚ. Všechny vzorky vyhovují dle požadavků na BPÚ, kdy hodnota PTV musí být větší než 70.



Graf 4 - závislost PTV na procentuálním zastoupení recyklovaného kameniva

7. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vypracovat rešerši na téma protismykových vlastností cementobetonových a asfaltových vozovek. V teoretické části došlo k seznámení protismykových vlastností, jejich vlivu na bezpečnost provozu, měření, hodnocení. Dále se pokračovalo tématem – zlepšení protismykových vlastností, kde nejvíce byly rozebrány bezpečnostní protismykové úpravy.

V praktické části byla udělána analýza nehodovosti na vybraných úsecích na území města Ostravy, kde je aplikována bezpečnostní protismyková úprava. Nehodovost klesla na čtyřech z pěti vybraných úsecích o více než polovinu. Také byl proveden vizuální průzkum a zhodnocení stavu protismykových úprav. Na základě vizuálního průzkumu byly vyhodnoceny dva úseky jako nesplňující požadavky pro bezpečnostní protismykové úpravy. Realizace úseku na mostě ev. č. 11-144, silnice I/11 ul. Rudná vykazovala vysoký podíl trhlin v místech vodorovného dopravního značení. Na místní komunikaci Čujkovova bylo nalezeno mnoho vad v podobě odlupování zrn kameniva a trhlin. Proto by se mělo zvážit nové provedení nebo lokální oprava protismykových úprav.

V druhé praktické části byla provedena pokládka bezpečnostních protismykových úprav na cementobetonové a asfaltové dlaždice. Pro naše vzorky je použito kamenivo nové s procentuálním zastoupením kameniva recyklovaného. Zkoumáme vhodnost použití recyklovaného kameniva na protismykové úpravy. Změřila se střední hloubka makrotextury a stanovil se součinitel tření zjištěný kyvadlem. Střední hloubka makrotextury se pohybuje v průměru 1,54 mm u cementobetonového povrchu a 1,42 mm u asfaltobetonového povrchu. Součinitel tření vychází průměrně 82,4 u cementobetonových dlaždic. Asfaltobetonové dlaždice mají větší průměr součinitele tření roven 84,2.

Podle vyhodnocení můžeme tvrdit, že podíl recyklovaného kameniva není závislý na lepších hodnotách zkoumaných parametrů oproti novému kamenivu. Ovšem všechny hodnoty výrazně překračují požadavky na bezpečnostní protismykové úpravy. Do budoucna to znamená, že je vhodné používat i recyklované kamenivo.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Zákon č. 361/2000 Sb.: Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů* [online]. Česko: AION CS, 2000 [cit. 2021-2-14]. ISBN 978-80-906024-1-0. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-361>
- [2] ING. MATĚJKA, Tomáš. Vliv povrchových vlastností vozovky na bezpečnost a plynulost silničního provozu. *Dopravní kurýr* [online]. 2014-, **2019**(2018), 16-17 [cit. 2021-2-15]. Dostupné z: https://dopravnikonference.com/wp-content/uploads/2019/08/Dopravni-kuryr_2019.pdf
- [3] ČSN EN 13036-1: *Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 1: Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [4] *Technologie stavby vozovek*. 1. Praha: INFORMAČNÍ CENTRUM ČKAIT, 2014. ISBN 978-80-87438-59-6.
- [5] Snížení dopravní nehodovosti v ČR je úspěchem nebo neúspěchem? *SILNICE ŽELEZNICE* [online]. 2011, 1 [cit. 2021-3-14]. Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/snizeni-dopravni-nehodovosti-v-cr-je-uspechem-nebo-neuspechem/>
- [6] *Technické podmínky 213: Bezpečnostní protismykové úpravy povrchů vozovek* [online]. 1. Brno: Ministerstvo dopravy, odbor silniční infrastruktury, 2009 [cit. 2021-4-13]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_213.pdf
- [7] Měření protismykových vlastností vozovek aneb máte v obci bezpečné silnice? *Consultest* [online]. 2016, 1 [cit. 2021-4-5]. Dostupné z: <https://www.consultest.cz/2016/07/10/mereni-protismykovych-vlastnosti-vozovek-aneb-mate-v-obci-bezpecne-silnice/>
- [8] Centrum dopravního výzkumu. *Dopravní nehody v ČR* [online]. Centrum dopravního výzkumu, 2021 [cit. 2021-4-18]. Dostupné z: <https://nehody.cdv.cz>
- [9] *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz, 2021 [cit. 2021-4-18]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni>

[10] ING. NEKULA, Leoš. Cementobetonové kryty z hlediska protismykových vlastností povrchu vozovky. *Beton TKS*. 2018, 22-27.

[11] ING. NEKULA, Leoš. *Školení o evropských a českých normách pro stavbu vozovek: Povrchové vlastnosti vozovek*. 2015.

[12] *Technické podmínky 82: Katalog poruch netuhých vozovek* [online]. 2010. Brno: Ministerstvo dopravy, odbor silniční infrastruktury, 2010 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_82.pdf

[13] *Technické podmínky 87: Navrhování údržby a oprav vozovek s cementobetonovým krytem* [online]. 2. Brno: Ministerstvo dopravy, odbor silniční infrastruktury, 2010 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_87.pdf

[14] *Technické podmínky 92: Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek* [online]. 2. Česko: Ministerstvo dopravy, odbor silniční infrastruktury, 2010 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_92.pdf

[15] *TYREGrip: Protismyková úprava* [online]. 6. Brantice: Značky Morava, 2019 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: https://znackymorava.cz/images/dokumenty/tiskoviny/2019/06_TYREGrip_Final.pdf

[16] *FROSTGRIP: Protinámrazová a protismyková úprava* [online]. 7. Brantice: Značky Morava, 2019 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: https://znackymorava.cz/images/dokumenty/tiskoviny/2019/07_FROSTGRIP.pdf

[17] ČSN EN 13036-4: *Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 4: Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadlem*. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Návosloví textury povrchu z hlediska vlnové délky [11]	4
Obrázek 2 – Základní charakteristiky ovlivňující protismykové vlastnosti [5]	5
Obrázek 3 - Ztráta makrotextury [12]	6
Obrázek 4 – Ztráta mikrotextury [12]	6
Obrázek 5 - 1. Diagram CBK s příčnou striáží, 2. CBK s příčnou striáží a kamenivem PSV 44 [10]	8
Obrázek 6 - 3. Diagram CBK s taženou jutou, 4. CBK s taženou jutou – klasifikační stupeň 5 [10]	9
Obrázek 7 - 5. Diagram CBK s obnaženým kamenivem, 6. CBK s obnaženým kamenivem [10]	10
Obrázek 8 - Princip výpočtu střední hloubky profilu MPD [4]	11
Obrázek 9 - Výpočet podélného/bočního součinitele tření povrchu vozovky [4]	12
Obrázek 10 - Měřicí zařízení ARAN [11]	13
Obrázek 11 - Měřicí zařízení TRT [11]	13
Obrázek 12 - Umístění BPÚ před přechodem pro chodce [6]	16
Obrázek 13 - Umístění BPÚ ve směrovém oblouku [6]	16
Obrázek 14 - Umístění BPÚ první zkoumaný úsek [9]	21
Obrázek 15 - Pohled na BPÚ ze směru Havířov	22
Obrázek 16 – Trhliny na BPÚ a vodorovném dopravním značení	22
Obrázek 17 - Umístění BPÚ druhý zkoumaný úsek [9]	23
Obrázek 18 - Pohled na BPÚ ze směru Ostrava – Hrabůvka	24
Obrázek 19 - Pohled na směrový oblouk	24
Obrázek 20 - Odlupování vrstvy v místě vodorovného dopravního značení	24
Obrázek 21 - Umístění BPÚ třetí zkoumaný úsek [9]	25
Obrázek 22 – Pohled na směrový oblouk ze směru Krmelín	26
Obrázek 23 – Pohled na směrový oblouk ze směru Nová Bělá	26
Obrázek 24 - Odlupování zrn vrstvy kameniva	26
Obrázek 25 - Umístění BPÚ čtvrtý zkoumaný úsek [9]	27
Obrázek 26 - Pohled na směrový oblouk v místě sjezdu na ul. Nad Porubkou	28
Obrázek 27 - Pohled na aplikaci BPÚ z ul. Rudná	28
Obrázek 28- Umístění BPÚ pátý zkoumaný úsek [9]	29
Obrázek 29 - Pohled na BPÚ před přechodem pro chodce – úsek v přímé	30

Obrázek 30 - Trhliny a odlupování vrstvy	30
Obrázek 31 - Pohled na BPÚ před přechodem pro chodce – úsek ve směrovém oblouku.....	31
Obrázek 32 – Úplná ztráta zrn kameniva BPÚ těsně před přechodem pro chodce.....	31
Obrázek 33 - Trhliny a odlupování vrstvy zrn kameniva BPÚ	31
Obrázek 34 – CB dlaždice – nanesení pojiva	32
Obrázek 35 - Křivka zrnitosti [QUALIFORM a.s.]	33
Obrázek 36 – Metoda MTD – vzorek č.4.....	35
Obrázek 37 – Metoda MTD – vzorek č.8.....	36
Obrázek 38 – Metoda MTD – vzorek č.12.....	37
Obrázek 39 – Metoda MTD, přehled vzorků	38
Obrázek 40 – Zkouška kyvadlem – CB Dlaždice	40
Obrázek 41 – Zkouška kyvadlem – Asf. dlaždice.....	41

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 -hodnocení protismykových vlastností a textury povrchu vozovky [13][14]	14
Tabulka 2 - požadovaná klasifikace hodnocení protismykových vlastností a textury povrchu vozovky [13][14].....	14
Tabulka 3- minimální délka BPÚ [6]	16
Tabulka 4 - požadavky na pojivo [6]	17
Tabulka 5- požadavky na kamenivo [6]	17
Tabulka 6 - požadavky na zdrsňující materiál [6]	17
Tabulka 7 - průkazní zkoušky – požadavky na BPÚ [6].....	19
Tabulka 8 - kontrolní zkoušky stavebního materiálu [6]	19
Tabulka 9 - požadavky na nově zhotovené BPÚ [6].....	20
Tabulka 10 - požadavky na BPÚ na konci záruční doby [6]	20
Tabulka 11 - výsledky měření CB (Tyregrip)	35
Tabulka 12 - výsledky měření asf. (Tyregrip).....	36
Tabulka 13 - výsledky měření CB – FROSTGRIP	37
Tabulka 14 - výsledky měření PTV – CB dlaždice.....	40
Tabulka 15 - výsledky měření PTV – asf. Dlaždice.....	41

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Nehodovost v Česku	2
Graf 2- vliv protismykových vlastností na nehodovost [11].....	3
Graf 3 - Závislost MTD na procentuálním zastoupením recyklovaného kameniva.....	38
Graf 4 - závislost PTV naprocentuálním zastoupení recyklovaného kameniva.....	42

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Tabulka vyhodnocení protismykových úprav na území města Ostravy
Příloha 2 – Fotodokumentace laboratorního měření
Příloha 3 – Protokol o zkouškách kameniva